

CRISTINA MÁRCIA BARROS DE CASTRO

ESTRATÉGIAS DE CONTRATAÇÕES DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS
NOS LEILÕES DE ENERGIA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2009

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

C355e
2009

Castro, Cristina Márcia Barros de, 1980-
Estratégias de contratações das empresas distribuidoras nos
leilões de energia / Cristina Márcia Barros de Castro.
– Viçosa, MG, 2009.
xv, 100f.: il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Geraldo Edmundo Silva Júnior.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 96-100.

1. Energia elétrica. 2. Energia elétrica - Comércio.
3. Leilões pela internet. 4. Algoritmos genéticos. 5. Contratos.
6. Empresas. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 333.7932

CRISTINA MÁRCIA BARROS DE CASTRO

ESTRATÉGIAS DE CONTRATAÇÕES DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS
NOS LEILÕES DE ENERGIA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 28 de abril de 2009.

Prof. Dra. Elaine Aparecida Fernandes

Prof. Dr. Sidney Martins Caetano

Prof. Dr. Adriano Provezano Gomes

Prof. Dr. André Luis Marques Marcato
(co-orientador)

Prof. Dr. Geraldo Edmundo Silva Junior
(orientador)

Dedico aos meus pais: José Aparecido e Soila, pela força, educação e confiança depositada em mim, e ao meu amor, Ivo, por toda a dedicação e companheirismo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me acompanhado em mais essa caminhada e pela capacidade que me deu para enfrentar esta batalha.

Aos meus queridos pais José Aparecido e Soila pelo apoio e amor incondicionais, e por nunca terem me deixado desistir. Ao meu irmão, Alexandre, pela paciência em meus momentos de ansiedade e por sempre estar disposto a me ajudar.

A todos os tios (as) e primos (as) que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e exercem um papel indispensável em minha vida. Em especial, a minha prima Flávia pela paciência em ler e reler este trabalho; às minhas Tias Denise e Mara pela motivação.

A minha avó Léa pela preocupação e amor sempre demonstrados e transmitidos.

A minha avó Anita que apesar de ter nos deixado, tenho certeza de que continua torcendo para que eu seja feliz e me sinta realizada...

Ao meu amor Ivo pela dedicação, amor, paciência e por sempre ter me mostrado que sou capaz de alcançar meus sonhos e superar meus obstáculos.

Ao meu orientador Geraldo Edmundo pelo apoio sempre demonstrado, pelos conhecimentos transmitidos e pelo tempo despendido para a realização deste estudo.

Ao meu co-orientador André Marcato pelo estímulo repassado, pela preocupação com este trabalho e pelas importantes sugestões e informações fornecidas.

Aos meus professores do curso de mestrado pelo incentivo e pelas aulas ministradas.

Aos companheiros de mestrado, Gi, Chrystian, Nay, Fran, Jamil, Marcelo, Breno, Fred, Pati, Gil, Tati, Fabrício, Gillian e Zé, pelos bons e inesquecíveis momentos que passamos juntos. Em especial, às amigas Lara e Ara que sempre estiveram ao meu lado me motivando a seguir em frente.

Ao amigo Bruno Dias, pelos conhecimentos compartilhados ao longo deste trabalho.

Ao amigo Paulo Gonçalves por ter me ouvido e ajudado diversas vezes.

Aos membros da banca, Elaine Fernandes, Sidney Caetano e Adriano Gomes, pelos comentários que enriqueceram este trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Economia da UFV, principalmente, à Ana Maria, Luiz Franco, Seu Gabriel, que sempre estiveram prontos a me ajudar.

À Capes pelo apoio financeiro.

Meus sinceros agradecimentos!

BIOGRAFIA

CRISTINA MÁRCIA BARROS DE CASTRO, filha de José Aparecido Fonseca de Castro e Soila Márcia Barros de Castro, nasceu em Juiz de Fora- MG, em 07 de março de 1980.

Em 2001 graduou-se em Administração pela Faculdade de Ciências Contábeis e Administrativas Machado Sobrinho, Juiz de Fora - MG. Em 2003, tornou-se Bacharel em Ciências Econômicas pela Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora - MG.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE SIGLAS.....	xii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Considerações Iniciais.....	1
1.2. Problema e sua Importância.....	2
1.3. Objetivos Gerais e Específicos.....	3
CAPÍTULO 1.....	6
O SETOR ELÉTRICO NO BRASIL.....	6
1. INTRODUÇÃO.....	6
2. MERCADO BRASILEIRO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	6
2.1. Antigo Modelo Energético do Brasil.....	8
2.2. A Reforma no Setor.....	9
2.3. Novo Modelo Institucional do Setor Elétrico Brasileiro.....	13
2.3.1. Regras de Comercialização de Energia Elétrica no Brasil.....	16
2.3.2. Ambiente de Contratação Regulada (ACR).....	18
2.3.3. Leilões para Comercialização.....	21
2.3.4. Procedimentos dos Leilões de Energia.....	23
2.3.4.1. Leilões de Energia no Brasil.....	23
2.3.4.2. Sistemática dos Leilões de Energia Existente.....	26
2.3.4.3. Sistemática dos Leilões de Energia Nova.....	29
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	32
CAPÍTULO 2.....	36
TEORIA DOS JOGOS: TEORIA DOS LEILÕES.....	36
1. INTRODUÇÃO.....	36
2. TEORIA DOS LEILÕES.....	36

	Página
2.1. Relaxamento de Algumas Pressuposições do Princípio de Rendimento Equivalente.....	43
CAPÍTULO 3.....	45
ESTRATÉGIA DE CONTRATAÇÃO DAS DISTRIBUIDORAS VIA ALGORITMOS GENÉTICOS.....	45
1. INTRODUÇÃO.....	45
2. ALGORITMOS GENÉTICOS.....	46
2.1. Breve Histórico sobre Algoritmos Genéticos.....	46
2.2. Os Algoritmos Genéticos.....	46
2.3. Algoritmo Genético Proposto.....	48
2.3.1. Inicialização da População.....	48
2.3.2. Definição dos Parâmetros Genético.....	52
2.3.2.1. Tamanho da População.....	52
2.3.2.2. Taxa de Cruzamento.....	52
2.3.2.3. Taxa de Mutação.....	53
2.3.2.4. Convergência.....	53
2.3.3. Função de Aptidão.....	53
2.3.4. Operadores Genéticos.....	54
2.3.4.1. Operador de Seleção.....	54
2.3.4.2. Operador de Cruzamento.....	55
2.3.4.3. Operador de Mutação.....	58
2.4. Elitismo.....	60
3. FONTE DOS DADOS.....	61
CAPÍTULO 4.....	62
RESULTADOS DOS ESTUDOS DE CASOS.....	62
1. INTRODUÇÃO.....	62
2. RESULTADOS DOS LEILÕES DE ENERGIA NO BRASIL.....	63
2.1. Análise das Estratégias Realizadas e dos Preços de Contratações.....	64
2.1.1. Estratégias de Contratações das Distribuidoras nos Leilões de 2004 a 2008.....	64

	Página
2.1.2. Estratégias de Contratações das Distribuidoras nos Leilões de 2005 a 2008.....	66
2.1.3. Preços de Contratações da Energia nos Leilões.....	69
2.2. Estudo de Casos baseados nos Resultados dos Leilões.....	71
2.2.1. <u>Caso 1</u> : Análise Comparativa dos Resultados dos Leilões Passados.....	71
2.2.2. <u>Caso 2</u> : Análise Comparativa baseada nas Alterações dos Volumes de Contratações.....	75
2.3. Estudos de Casos baseados na Simulação de Algoritmo Genético.....	76
2.3.1. Caracterização da Simulação de Algoritmo Genético.....	76
2.3.2. <u>Caso 3</u> : Partindo dos Preços de 2008 e Utilizando as Variações de Preço do Histórico.....	77
2.3.3. <u>Caso 4</u> : Considerações de Fatores Externos.....	83
2.4. Simulação do Leilão de Energia Existente.....	86
2.4.1. <u>Caso 5</u> : Considerando 20 Agentes Participantes do Leilão	87
2.4.2. <u>Caso 6</u> : Reduzindo o Número de Agentes Participantes do Leilão.....	89
2. CONCLUSÕES.....	93
REFERÊNCIAS.....	96

LISTA DE TABELAS

	Página
1.1 - Histórico dos Leilões de Energia Elétrica realizados de 2004 a 2008.....	24
3.1 - Cromossomo do Tipo A: Decisões de Participação (0-1).....	49
3.2 - Cromossomo do Tipo B: Preço da Energia nos Leilões.....	50
3.3 - Cromossomo do Tipo C: Mercado Contratado nos Leilões	51
4.1 - Características das Empresas que mais Contrataram Energia nos Leilões até 2008.....	64
4.2 - Estratégias de Contratação (2004-2008).....	72
4.3 - Preço Médio dos Leilões (2004-2008).....	72
4.4 - Custo Médio de Contratação por parte das Distribuidoras (2004 - 2008).....	73
4.5 - Modificação nos Volumes de Contratações das Distribuidoras ELETROPAULO e CEMIG.....	75
4.6 - Resultado das Trinta Simulações do Algoritmo Genético – Caso 3.....	81
4.7 - Média e Mediana das Simulações Realizadas – Caso 3.....	81
4.8 - Média e Mediana com Taxa de Crescimento da Demanda de 5,8% a.a.....	82
4.9 - Média e Mediana com Taxa de Crescimento da Demanda de 4,2% a.a.....	82
4.10 - Resultado das Trinta Simulações do Algoritmo Genético – Caso 4.....	86
4.11 - Média e Mediana das Simulações Realizadas – Caso 4.....	86
4.12 - Resultados da Simulação de um Leilão de Energia Existente (20 participantes).....	88
4.13 - Resultados da Simulação de um Leilão de Energia Existente (10 participantes).....	89

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 - Modelo de Competição por Atacado	2
1.1 - Taxa de Crescimento da Demanda de Energia e do PIB nos anos de 1956 a 2005.....	7
1.2 - Vinculação entre Instituições.....	15
1.3 - Ambientes de Contratação de Energia no Sistema Interligado Nacional.....	17
1.4 - Relação da Energia Contratada.....	18
1.5 - Momentos de Contratação de Energia.....	21
1.6 - Fases do Leilão de Energia Existente.....	26
1.7 - Sistematização da Primeira Fase do Segundo Leilão de Energia Existente.....	28
1.8 - Participantes Qualificados para a Segunda Fase do Segundo Leilão de Energia Existente.....	28
1.9 - Determinação dos Lotes Atendidos e não Atendidos no Segundo Leilão de Energia Existente.....	29
1.10 - Fases do Leilão de Energia Nova.....	30
1.11 - Diferenciação das Fases nos Leilões A-5 e A-3.....	30
3.1 - Seleção pelo Método da Roleta.....	55
3.2 - Progenitor 1: Ponto de Corte em destaque.....	56
3.3 - Progenitor 2: Ponto de Corte em destaque.....	56
3.4 - Cromossomo do Descendente 1.....	57
3.5 - Cromossomo do Descendente 2.....	58
3.6 - Determinação do Intervalo de Mutação.....	59
3.7 - Indivíduo Final.....	59
3.8 - Estrutura do Algoritmo Genético Proposto.....	60
4.1 - Percentagem de Contratação das 15 maiores Distribuidoras nos Três Tipos de Leilões de Energia Elétrica (até o ano de 2008)....	65
4.2 - Diferença entre as Quantidades de Lotes de Energia Contratados pela CEMIG e pela ELETROPAULO nos Diversos Momentos de Contratações de 2004 a 2008.....	66

	Página
4.3 - Percentagem de Contratação das 15 maiores Distribuidoras nos Três Tipos de Leilões de Energia Elétrica, sem o efeito do Mega-leilão (de 2005 a 2008).....	67
4.4 - Diferença entre as Quantidades de Lotes de Energia Contratados pela CEMIG e pela ELETROPAULO nos Diversos Momentos de Contratações de 2005 a 2008.....	68
4.5 - Comparação dos Preços Médios nos Momentos de Contratação.....	69
4.6 - Crescimento do Mercado a uma Taxa de 5% ao ano.....	78
4.7 - Gráfico de Convergência do Algoritmo Genético – Caso 3.....	79
4.8 - Contratação Ótima encontrada pelo Algoritmo Genético – Caso 3.....	79
4.9 - Valores dos Preços dos Leilões obtidos pelo Algoritmo Genético – Caso 3.....	80
4.10 - Gráfico de Convergência do Algoritmo Genético – Caso 4.....	84
4.11 - Contratação Ótima encontrada pelo Algoritmo Genético – Caso 4.....	84
4.12 - Valores dos Preços dos Leilões obtidos pelo Algoritmo Genético – Caso 4.....	85
4.13 - Primeira Fase do Leilão de Energia Existente (Caso 5).....	90
4.14 - Agentes Qualificados da Primeira para a Segunda Fase do Leilão de Energia Existente.....	90
4.15 - Classificação dos Agentes após os Lances de Preços na Segunda Fase do Leilão.....	91

LISTA DE SIGLAS

A-1	Leilão com início de suprimento de energia um ano após sua realização
A-3	Leilão com início de suprimento de energia três anos após sua realização
A-5	Leilão com início de suprimento de energia cinco anos após sua realização
ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
AMPLA	Ampla Energia e Serviços S.A.
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BANDEIRANTE	Bandeirante Energia S. A.
BEN	Balanço Energético Nacional
CCEAR	Contrato de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CCPE	Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos
CELESC	CELESC Distribuição S. A.
CELPA	Centrais Elétricas do Pará S. A.
CELPE	Companhia Energética de Pernambuco
CEMAT	Centrais Elétricas Matogrossenses S. A.
CEMIG	Centrais Elétricas de Minas Gerais
CEPISA	Companhia Energética do Piauí
CHESF	Companhia Energética do São Francisco
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNPE	Conselho Nacional de Políticas Energéticas
COELBA	Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia
COELCE	Companhia Energética do Ceará
COPEL	Copel Distribuição S. A.
CPFL PAULISTA	Companhia Paulista de Força e Luz
DISTCOS	Distribuidoras

ELEKTRO	Elektro Eletricidade e Serviços S. A.
ELETROPAULO	Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S. A.
ENB	Equilíbrio de Nash Bayesiano
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ICB	Índice de Custo-Benefício
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPCA	Índice de Preços ao Consumidor Amplo
LIGHT	Light Serviços de Eletricidade S. A.
MAE	Mercado Atacadista de Energia
MRE	Mecanismo de Realocação de Energia
MW	Mega-Watt
MWh	Mega-Watt hora
ONS	Operador Nacional do Sistema
OR	Oferta de Referência
PDE	Plano Decenal de Energia
PIB	Produto Interno Bruto
PLD	Preço das Liquidações das Diferenças
PNE	Plano Nacional de Energia
PRE	Princípio do Rendimento Equivalente
QTD	Quantidade Total Demandada
QTO	Quantidade Total Ofertada
RE-SEB	Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro
SIN	Sistema Interligado Nacional
VA	Valor Aptidão
VR	Valor de Referência

RESUMO

CASTRO, Cristina Márcia Barros de, M. Sc., Universidade Federal Viçosa, abril de 2009. **Estratégias de contratações das empresas distribuidoras nos leilões de energia.** Orientador: Geraldo Edmundo Silva Junior. Co-orientadores: André Luis Marques Marcato e Mércio Botelho Faria.

As mudanças no modelo energético trouxeram uma série de novas regras para as empresas de energia, entre as quais se destacam as regras de comercialização de energia elétrica. Nesse novo ambiente as empresas de distribuição (DISTCOS) atendem suas demandas esperadas principalmente através de contratos de longo prazo nos leilões de energia. Este trabalho apresenta uma análise detalhada dos leilões de energia no período de 2004 a 2008, além de desenvolver uma ferramenta de decisão de contratação ótima para as distribuidoras de energia de modo a minimizar seus custos de contratação e, ainda, objetiva realizar uma simulação dos leilões de energia existente conforme as regras de comercialização. As estratégias de contratação das distribuidoras são pautadas nas decisões se participa, ou não, dos três tipos de leilões de energia: A-1, com a quantidade de energia começando a ser distribuída um ano após o leilão, A-3 e/ou A-5, com entrega a três ou cinco anos depois nos leilões, respectivamente. Dessa forma, os participantes ainda decidem a quantidade de energia que deverá ser contratada. O resultado da análise até 2008 mostra que a maioria das DISTCOS optou por contratar no leilão de energia existente, denominado de A-1, por eles possuírem o menor preço. Esses resultados foram confirmados pelo método de algoritmos genéticos usado para avaliar a função objetivo estabelecida para as DISTCOS. A simulação dos leilões de energia existente permitiu concluir que à medida que o número de agentes eleva-se, o preço praticado nos leilões tende a reduzir dada a maior competitividade entre os participantes e o aumento do risco de ficar descontratado, o que implica em penalizações ao agente, além de gerar custos maiores na contratação no mercado de curto prazo, caso os preços praticados sejam maiores.

ABSTRACT

CASTRO, Cristina Márcia Barros de, M. Sc., Universidade Federal Viçosa, April, 2009. **Distribution companies contracting strategies in energy auctions.** Orientador: Geraldo Edmundo Silva Junior. Co-orientadores: André Luis Marques Marcato and Mércio Botelho Faria.

The changes in the Brazilian Energy Model brought a series of new rules to energy companies. This is especially true for the electrical energy trading rules. In this new environment the Distribution Companies (DISTCOS) must meet their expected load basically through long-term contracts in energy auctions. This work presents a detailed analysis of the energy auctions held between 2004 and 2008; also develops an optimum portfolio decision tool to DISTCOS with a minimum cost objective function, and also aims at the simulation of energy auction results based on those trading rules. The DISTCOS trading strategies are based in the decision to participate, or not, in the three main kinds of energy auction contracts: A-1, with the amount of energy being delivered one year after the auction, A-3 and A-5, delivered three and five years after the auctions, respectively. Additionally, they must decide the amount of energy to be contracted. The results analysis until 2008 show that a great amount of DISTCOS opted to contract in the A-1 auctions, as they presented the lower prices. These results were confirmed by the use of genetic algorithms used to evaluate the fitness function of DISTCOS. The auctions simulation lead to a conclusion that as the number of agents increases, the prices tend to reduce due to the increase in the competitiveness between those participants and also because of the risk to be under contracted, that implicates in penalties to the agent, together with that would result in an increase of costs contracting in the spot market, if the spot price is higher.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

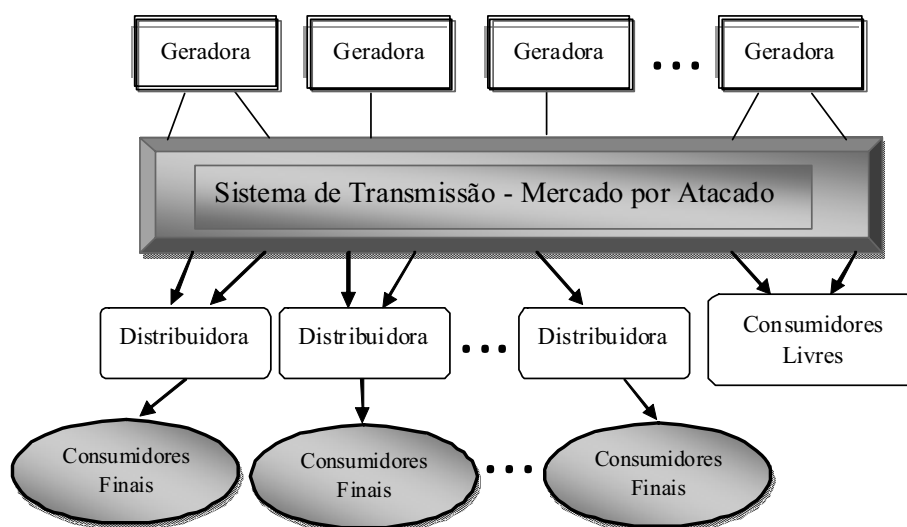
Com as crises generalizadas em diversos setores da economia, na década de oitenta, o crescimento do Brasil esteve ameaçado pela falta de investimentos no sistema energético. Sendo assim, nos anos noventa, notou-se uma contínua busca por uma estrutura adequada de suprimento de energia baseada nas reformas implantadas, nas privatizações e, principalmente, nas mudanças na estrutura de mercado, tornando o mercado desverticalizado nos segmentos de geração, transmissão e distribuição.

Alguns fracassos também foram verificados, como o racionamento de energia em 2001. Até que em 2004, surgiu uma reestruturação que culminou nos processos utilizados nos dias atuais, isto é, no procedimento de leilões. De acordo com Klemperer (2004), o modelo de leilões possui uma base teórica fundamentada em importantes modelos de formação de preços.

Com isso, após a reestruturação, o mercado de energia elétrica brasileiro passou a funcionar similarmente a um dos quatro modelos apresentados por Kirschen e Strbac (2004), os quais foram descritos primeiramente por Hunt e Shuttleworth (1996), podendo ser classificados em: Monopólio, Agência de Compra, Competição na Venda por Atacado e Competição no Varejo.

Dentre estes, o novo modelo brasileiro enquadra-se melhor no modelo de Competição na Venda por Atacado, isto é, as distribuidoras compram a energia

elétrica, que fornecerão aos seus clientes (os consumidores finais), diretamente das companhias de geração no mercado atacadista; podendo os consumidores livres comercializarem diretamente com as empresas geradoras, como demonstra a Figura 1, ou ainda, especificamente no caso brasileiro, comprar a energia desejada dos comercializadores de energia (porém, este processo não é descrito no modelo apresentado por Kirschen e Strbac (2004)).



Fonte: Kirschen e Strbac (2004) *apud* Hunt e Shettleworth

Figura 1 - Modelo de Competição por Atacado

Sendo assim, no modelo brasileiro a compra e a venda de energia elétrica entre os agentes é realizada através de leilões, e é neste ponto em que se instala a importância deste trabalho.

1.2. Problema e sua Importância

O setor elétrico brasileiro sofreu diversas mudanças em sua estrutura até culminar no modelo vigente (implantado em 2004), o qual busca, além do atendimento total da demanda, a modicidade tarifária. O procedimento mais coerente para se atingir estes objetivos foi a implantação dos leilões para a comercialização de energia. Nos leilões, por meio de contratos bilaterais regulados, os agentes geradores de energia elétrica vendem a quantidade desejada, limitados a preços máximos

impostos pelo governo, enquanto que os agentes compradores, representados pelas distribuidoras, compram a quantidade demandada por seus consumidores finais.

Como este é um processo relativamente “novo” de comercialização no setor torna-se interessante a realização de uma análise dos resultados dos leilões efetuados até 2008. E dadas as perspectivas de mercado e as possibilidades de contratações é facultado às empresas distribuidoras a decisão de comprar a energia com antecedência de um (leilão de A-1), três (leilão de A-3) e/ou cinco anos (leilão de A-5) em relação ao início do suprimento. Porém, a decisão de quando contratar está atrelada aos preços praticados nos leilões, que por ser um jogo estratégico com informação imperfeita torna difícil a tomada de decisão exata.

Sendo assim, uma avaliação do comportamento dos agentes nos momentos dos leilões nos fornece um provável direcionamento das ações dos agentes durante a realização dos leilões tornando possível uma aproximação de um dos objetivos desejados pelo governo, o de comercialização de energia pelo menor preço.

1.3. Objetivos Gerais e Específicos

Neste trabalho buscou-se atingir três objetivos gerais, sendo eles:

- a realização de uma análise dos resultados dos leilões ocorridos no setor até o final de 2008;
- o desenvolvimento de uma ferramenta computacional de auxílio à tomada de decisão por parte das distribuidoras de energia nos leilões;
- a simulação dos procedimentos de leilões de energia existente.

Dentre os objetivos apresentados, a análise dos resultados dos leilões tem como objetivo específico: a avaliação do comportamento do setor elétrico frente a comercialização de energia (no Ambiente de Contratação Regulado) e das tendências de contratações pelas diversas fontes de energia, a determinação das distribuidoras com maiores volumes de contratações do setor, bem como, a determinação e comparação dos preços negociados nos três tipos de leilões até o ano de 2008.

Com relação ao segundo objetivo, buscou-se especificamente o direcionamento das estratégias ótimas de contratações das empresas distribuidoras nos processos de leilões de energia. Esse objetivo foi atingido por meio da utilização de uma técnica de inteligência artificial, denominada de Algoritmos Genéticos,

através da qual foram simuladas as possíveis estratégias de contratação para as distribuidoras, baseando-se nos seguintes pontos:

- (i) participação ou não da distribuidora nos leilões;
- (ii) havendo participação, qual o valor do mercado, Mega-Watt médio (MW médio), a ser contratado;
- (iii) havendo participação, em que momento deverá ser realizada a contratação.

O algoritmo desenvolvido considera que as decisões de participação, as quantidades a serem contratadas e o momento de contratação são tomadas com o objetivo de minimizar o custo de contratação das distribuidoras e garantir o atendimento ao mercado.

A simulação da sistemática dos leilões de energia existente, realizada através de modelagem computacional permitiu, especificamente, apontar o nível de competição entre os agentes e as diferenciações de preços, dada a variação da quantidade de agentes participantes nos leilões de energia existente.

Visando o alcance dos objetivos propostos, a presente dissertação está organizada da seguinte forma:

Além desta Introdução, o Capítulo 1 mostra um breve relato de como ocorreu o desenvolvimento do setor elétrico brasileiro; as regras de comercialização que passaram a vigorar no novo modelo, incluindo as informações referentes aos leilões já realizados, e a sistemática dos leilões de energia existente e nova; e os principais trabalhos desenvolvidos nesta área.

O Capítulo 2 descreve os fundamentos de Teoria dos Jogos – Teoria dos Leilões, delineando os conceitos de leilões que auxiliam na definição do modelo mais apropriado a ser implantado; as possibilidades de ações dos participantes e a importância de se ter informações privilegiadas para se vencer o jogo. Neste Capítulo, ainda, é apresentado o modelo de leilão adotado no mercado brasileiro de eletricidade.

O Capítulo 3 apresenta a metodologia de Algoritmos Genéticos, que através de processos de seleção, cruzamento e mutação, gera indivíduos cada vez mais aptos a atingirem o objetivo desejado, que neste caso é a minimização dos custos de contratação de uma distribuidora (estratégia ótima de contratação).

No Capítulo 4 são realizados estudos com relação aos resultados dos leilões realizados até o segundo semestre de 2008; às estratégias ótimas de contratações das distribuidoras (via Algoritmo Genético); bem como, são feitas simulações dos procedimentos de leilões de energia existente.

Por fim, nas Conclusões são descritas as considerações finais deste trabalho que indicam uma preferência da maioria das distribuidoras em contratarem no momento A-1, tanto pela análise dos resultados dos leilões já realizados, quanto pelos resultados obtidos pelos Algoritmos Genéticos. A simulação dos leilões de energia existente permitiu concluir que o aumento do número de participantes reduziu o valor dos preços praticados nos leilões. Neste capítulo também são abordadas as intenções de trabalhos a serem desenvolvidos futuramente.

CAPÍTULO 1

O SETOR ELÉTRICO NO BRASIL

1. INTRODUÇÃO

A dinâmica do Setor Elétrico Brasileiro apresenta-se diretamente relacionada com a expansão do país, o que vem a justificar, em parte, a importância assumida por este tema. Sendo assim, tornou-se necessária a implantação de mudanças estruturais no setor, a fim de garantir maior competitividade entre as empresas e estimular os investimentos no setor, que devido ao alto crescimento da demanda esteve no limiar do não atendimento da demanda, e conseqüentemente, na iminência de um colapso de energia.

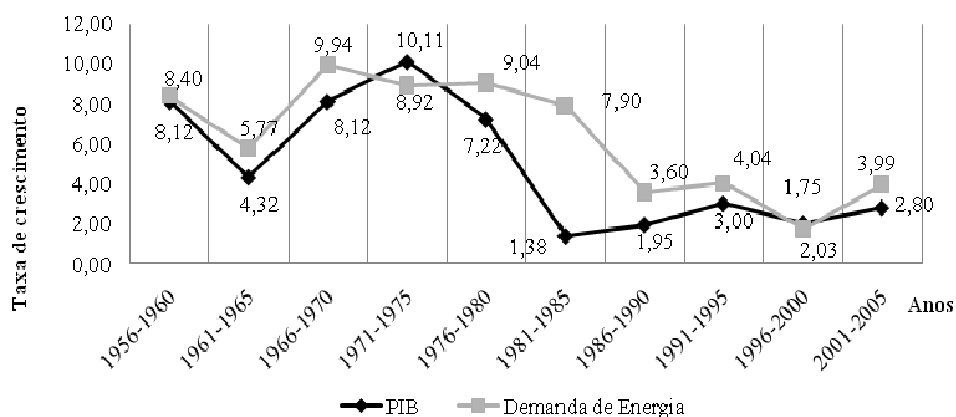
As seções seguintes descrevem os principais acontecimentos no mercado energético nacional, as regras que pautam a comercialização de energia, incluindo os processos de leilões e algumas informações daqueles realizados de 2004 a 2008, bem como, apresenta uma explanação dos principais trabalhos desenvolvidos na área.

2. MERCADO BRASILEIRO DE ENERGIA ELÉTRICA

Ao analisar o Mercado de Energia no Brasil considerou-se importante observar o comportamento da demanda de energia frente ao crescimento do PIB (Produto Interno Bruto). Esse aspecto pode ser visualizado na Figura 1.1, a qual

mostra uma comparação entre a taxa de crescimento, quinquenal, da demanda de energia e do PIB, ao longo dos anos de 1956 a 2005.

Na Figura 1.1, observou-se que a taxa de crescimento da demanda por energia encontrou superior à elevação do PIB em quase todo o período analisado, principalmente após a década de setenta, na qual houve um aumento expressivo na quantidade de investimentos, que culminaram na expansão da capacidade de geração do setor. Mas, a partir da década de noventa, verificou-se uma redução na diferença entre estas duas taxas, provavelmente pela diminuição dos níveis de investimentos.



OBS: Valores em porcentagem.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do IPEA.

Figura 1.1 - Taxa de Crescimento da Demanda de Energia e do PIB nos anos de 1956 a 2005.

Sendo assim, a partir da segunda metade da década de oitenta, tornou-se cada vez mais imprescindível uma reestruturação no setor, a fim de manter os investimentos em patamares suficientes para abastecer a crescente demanda por energia. Contudo, as mudanças advindas dessa reestruturação não foram verificadas rapidamente, apenas em 2004, com o Decreto 5.163, é que foi implantado o novo modelo institucional do setor, que continua sofrendo aperfeiçoamentos em sua estrutura.

Uma característica que permaneceu por muitos anos no setor elétrico (aproximadamente até o ano de 1995) foi a presença de uma estrutura estatal concentrada, porém, a falta de competitividade e de investimentos, tornou necessária

a realização de privatizações, resultando em uma estrutura na qual a distribuição e a transmissão que são monopólios naturais, continuaram, em sua maioria, sendo empresas públicas e passaram a ser reguladas pelo governo (BANDEIRA, 2005).

2.1. Antigo Modelo Energético do Brasil

O nascimento da indústria elétrica, no Brasil, segundo Pinto Junior *et al.* (2007), ocorreu no final do século XIX, sendo marcado por inovações na geração, transmissão e distribuição. O seu desenvolvimento intensificou-se com a entrada de capitais estrangeiros, oriundos de investimentos que visavam à modernização e à industrialização em nosso país. Conforme os autores, a fase inicial da expansão energética foi caracterizada institucionalmente pela ausência de uma legislação específica, sendo os serviços de eletricidade regidos por concessões e contratos, estes sofriam com as desvalorizações da moeda, em forma de tarifas, reduzindo a rentabilidade das empresas de capital estrangeiro.

Em 1934, surgiu o Código das Águas, que representou o início da intervenção federal na indústria elétrica do Brasil. Na década seguinte, observou-se uma crise na oferta de energia, atingindo diretamente as regiões com maior demanda.

Após a Segunda Guerra, muitos países experimentaram um forte crescimento do setor elétrico. Os anos cinquenta e sessenta foram marcados pela intensificação da intervenção do governo brasileiro no sistema, o que gerou uma reestruturação financeira, econômica e institucional, permitindo o grande desenvolvimento e reestruturação do setor. Um dos pontos fundamentais foi a criação de importantes empresas de produção de energia, tais como: CHESF - Companhia Hidrelétrica do São Francisco (1945); CEMIG - Centrais Elétricas de Minas Gerais (1952); Furnas (1957); Ministério de Minas e Energia e Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (1960); e Eletrobrás (1962)¹. Sendo que estas continuam exercendo papel fundamental no setor elétrico brasileiro.

O desenvolvimento do setor foi visível até meados dos anos setenta, apoiado no aumento dos investimentos, nas melhorias do acesso dos consumidores aos serviços elétricos e da qualidade da energia fornecida e em uma redução nas tarifas cobradas.

¹ Informações a respeito das atribuições iniciais da Eletrobrás, sua reestruturação e suas novas atribuições e funções no setor elétrico brasileiro podem ser obtidas em Leite (2007), Pinto Junior *et al.* (2007) e Eletrobrás (2009).

Juntamente com a intensificação das economias de escala e de escopo, observou-se o crescimento na demanda de eletricidade, tanto nas residências quanto no setor de serviços e na indústria, além de uma redução nos custos de energia. Com esse crescimento econômico sustentável surgiu uma melhora na qualidade dos serviços das empresas elétricas, fazendo com que as indústrias demandassem energia no sistema, não se restringisse a autogeração. A expansão no sistema gerou conflitos entre as partes envolvidas, visando, assim, a necessidade de regulação da indústria elétrica. Desta forma, pode-se ressaltar que os anos após a década de setenta foram marcados por um declínio da intervenção do Estado no setor elétrico.

No período 1974-1985, após a Crise do Petróleo, a economia nacional permaneceu crescendo, porém, em ritmo cada vez mais lento, e com ela o aumento incessante da taxa de inflação.

A crise econômica surgida nos primeiros anos da década de oitenta causou muitos impactos no setor elétrico, comprometeu a eficiência econômica do sistema e o modelo de financiamento. A segunda metade da década foi caracterizada pela redução dos investimentos e pela ameaça das economias de escala, surgindo à necessidade de uma reforma institucional. Contudo, o consumo de energia elétrica continuou com sua expansão a elevadas taxas impulsionadas pela maturação dos projetos industriais previstos no II Plano Nacional de Desenvolvimento e pela queda constante do nível tarifário. No período 1981-1990, o consumo total de energia elétrica cresceu a uma taxa média anual de 5,9%, enquanto que o PIB cresceu, em média, 1,6% ao ano. Portanto, o rápido crescimento da demanda consumiu o estoque de sobre capacidade do sistema, forçando o governo a adotar medidas de aumento da capacidade de oferta de energia, além de buscar a eficiência do mercado.

2.2. A Reforma no Setor

Pinto Junior *et al.* (2007) afirmam que, juntamente com as reformas do Estado e dos programas de estabilização econômica, iniciou-se, em meados da década de noventa, uma reestruturação na indústria de eletricidade.

Esse modelo institucional do setor elétrico brasileiro surgiu a partir de 1993, com a Lei 8.631/93², sendo este complementado pelas Leis 9.074/94³ e 8.987/95⁴, as

² Brasil, Congresso Nacional (1993)

³ Brasil, Congresso Nacional (1994)

⁴ Brasil, Congresso Nacional (1995)

quais discorrem a respeito dos contratos de suprimento entre geradoras e distribuidores. Em 1996, o Ministério de Minas e Energia cria o Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro (RE-SEB), o qual apontou a necessidade de uma desverticalização nas empresas de energia elétrica, isto é, a separação dos segmentos de geração, transmissão e distribuição.

Uma característica que permaneceu por muitos anos no setor elétrico foi a presença de monopólios nas empresas, porém a falta de competitividade e de investimentos, tornou necessária a realização de privatizações, resultando em uma estrutura na qual a distribuição e a transmissão continuariam sendo empresas públicas e passariam a ser reguladas pelo governo, por serem monopólios naturais. Enquanto que, as geradoras e as comercializadoras começaram a competir no mercado, através da venda de lotes de energia nos leilões de longo prazo. De acordo com Kirschen e Strbac (2004), a utilização de monopólio tem a tendência de sobreestimar a quantidade de capacidade de geração e com isso, os consumidores tem que arcar com esses investimentos desnecessários. Enquanto que, com a introdução da competição, a decisão de investimento das empresas acompanha a real evolução da demanda, uma vez que investimentos desnecessários representam um risco para os investidores.

Assim, o novo modelo tinha como objetivo evitar a crise de fornecimento energético do Brasil, através da regulamentação de concessões de serviços do setor elétrico para investidores (transmissão e distribuição) e da desestatização de empreendimentos existentes, ou seja, as privatizações das geradoras. Uma das propostas da reforma era realizar privatizações logo após a desverticalização. As privatizações seriam uma forma de desregular o mercado e, com isso, as empresas competiriam livremente, o que, de acordo com Kirschen e Strbac (2004), resulta em ganhos de eficiência maiores e a competição beneficiaria os consumidores.

Conforme afirmam Correia, Melo e Costa (2006b), antes das privatizações, o governo objetivava construir um sistema regulatório para a obtenção de concorrência, melhoria de qualidade e de eficiência, através de um órgão regulador independente e autônomo. Todavia, o início das privatizações ocorreu antes mesmo da criação do órgão regulatório, apresentando inconsistências nas novas regras contratuais e impossibilitando que a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) definisse as normas dos novos investimentos, bem como a entrada de novos agentes,

devido ao tempo insuficiente para suas ações. A solução encontrada pelo governo federal foi acelerar a venda de suas distribuidoras e induzir os Estados a tomarem a mesma medida. Contudo, tais ações atrasaram a reestruturação e privilegiaram apenas as privatizações de distribuição, permanecendo a geração, segmento com maior margem para concorrência, predominantemente federal por mais algum tempo.

Para Mendonça e Dahl (1999), a privatização das distribuidoras era um pré-requisito para a reforma no sistema. Pois, pelo ponto de vista financeiro, as privatizações foram um sucesso, com o pagamento recebido acima do valor mínimo de venda. Contudo, não levaram à ampliação da capacidade geradora, com um acréscimo bem inferior ao esperado pelo governo. Dessa forma, as privatizações nas distribuidoras iniciaram-se no ano de 1995, enquanto que as privatizações das geradoras de energia foram ocorrer somente a partir de 1998, intensificando-se em 1999. Mesmo assim, 85% das geradoras mantiveram-se públicas, o que continua a interferir na determinação do preço final praticado nos leilões de energia elétrica.

O problema da oferta logo foi agravado, pois as reformas tinham subestimado as particularidades do sistema de geração e de transmissão ao realizar privatizações das distribuidoras de energia sem a definição de regras claras para o setor, tornando difícil a obtenção de recursos, os quais minimizariam os problemas (ARAÚJO, 2001).

Os objetivos da reforma, que visavam mudanças institucionais e estruturais, eram: o aumento dos investimentos em geração e transmissão, devido à elevação da taxa de crescimento da demanda; e a introdução de concorrências, a fim de se reduzir custos, preços e melhorar a qualidade. O setor elétrico apresentou como parte da reforma, a criação de instituições que seriam a base do modelo, garantindo o desempenho deste e auxiliando nas mudanças impostas pela reforma. Dentre as instituições destacam-se:

- ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), criada pela Lei 9.427 de dezembro de 1996⁵, com a função de órgão fiscalizador, mediador e regulador econômico, exercendo também atividades vinculadas ao poder concedente, e promovendo as licitações para a exploração de serviços de eletricidade;

⁵ Brasil, Congresso Nacional (1996)

- ONS (Operador Nacional do Sistema), criado em 1998 (Lei 9.648/98⁶, Decreto 2.655/98⁷ e Resolução 351/98/ANEEL⁸), teria como papel a regulação técnica do sistema, além das funções de planejamento, programação e execução das operações das usinas visando atender à demanda;
- MAE (Mercado Atacadista de Energia), criado em 1998 (Lei 9.648/98⁹ e Decreto 2.655/98¹⁰), ambiente pelo qual a entrada de novas empresas seria regulada, tendo como funções definir o valor das tarifas, realizar as transações de compra e venda de energia do sistema e a contabilização destas transações e das liquidações das diferenças entre os valores contratados e os verificados por medição. Essa instituição também auxiliaria na competição da geração e da comercialização de energia elétrica.

Sabe-se que o ONS tem o papel de manter a integridade do Sistema Interligado Nacional¹¹, operando em um modelo de otimização que define o despacho das centrais elétricas e opera o sistema de transmissão. Já o MAE tinha a função de gerenciar os contratos de compra e venda de energia e calcular o preço de *spot* (mercado de curto prazo) no Mercado Atacadista de Eletricidade.

Enfatiza-se, também, o Conselho Nacional de Política Energética¹² (CNPE), o qual possuía a finalidade de formular políticas e diretrizes do setor energético; bem como o Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos (CCPE), cujos objetivos eram: orientar as ações do governo a fim de assegurar o fornecimento de energia com qualidade e na quantidade demandada, manter os agentes informados quanto aos planos de investimentos e estabelecer uma expansão adequada à rede de transmissão.

Como a matriz energética brasileira é marcada por um parque gerador na sua maioria voltado à hidroeletricidade, os níveis dos reservatórios estão diretamente

⁶ Brasil, Congresso Nacional (1998)

⁷ Brasil, Presidência da República (1998)

⁸ Brasil, Diretoria Geral da ANEEL (1998)

⁹ Brasil, Congresso Nacional (1998)

¹⁰ Brasil, Presidência da República (1998)

¹¹ Sistema Interligado Nacional (SIN) é formado por empresas de geração e de distribuição e de linhas de transmissão, o qual permite a interligação de quase todo território nacional (ou seja, a troca de energia elétrica entre as regiões), abrangendo o Sul, o Sudeste, o Centro-Oeste, o Nordeste e parte do Norte. Existindo, também, diversos sistemas de pequeno porte denominados de Sistemas Isolados, principalmente, na região Amazônica do Brasil (ANEEL, 2008).

¹² Exercendo papel secundário

relacionados às alterações climáticas, o que gera um risco eminente de colapso no fornecimento de energia. Devido à forte seca vivenciada pelas regiões Sudeste e Nordeste e ao aumento do risco de déficit, proveniente da redução nos níveis dos reservatórios (desde 1997), notou-se, em maio de 2001, a ocorrência de uma falha no planejamento do sistema que levou ao racionamento de energia (BARDELIN, 2004). Esta crise acentuou-se em 2001 e 2003. Sem alternativa, o governo implantou um programa de racionamento de energia, no período de junho de 2001 a fevereiro de 2002, nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste; e na região Norte, de agosto de 2001 a janeiro de 2002. Em 2001, os riscos de déficits de energia ultrapassaram a margem aceitável de 5%: nas regiões Sudeste/ Centro-Oeste o déficit foi de 11,9% e no Nordeste de 10,9%, enquanto em 2002 eram de 9,3% e 11,7%, respectivamente, como afirmam Pires, Gostkorszewick e Giambiagi (2001). Como ações emergenciais, destacam-se a construção de 49 usinas térmicas, que ampliariam em quase 25% a capacidade nacional instalada de energia elétrica. Pires, Giambiagi e Sales (2002) expuseram que no período do racionamento, as indústrias possuíam uma meta de redução no consumo de energia de 25%, sendo possível a negociação do direito de consumo da energia não utilizada, com outras empresas.

Em 2002, o governo, a fim de se adequar ao modelo que estava sendo implantado, criou o Comitê de Revitalização do Modelo do Setor Energético, objetivando garantir o fornecimento de energia de qualidade, evitando que o crescimento do país fosse ameaçado por problemas estruturais. Lançando, assim, ações que configuraram uma nova reforma no sistema elétrico brasileiro.

2.3. Novo Modelo Institucional do Setor Elétrico Brasileiro

Diante dos sucessivos problemas estruturais enfrentados pelo setor elétrico brasileiro, Correia, Melo e Costa (2006a) afirmam que as alterações propostas visavam assegurar os investimentos privados necessários à expansão da oferta de energia, para o crescimento do mercado, mesmo diante da incapacidade do Estado em manter os investimentos suficientes ao atendimento da demanda.

Estas mudanças estruturais levaram a um novo modelo no setor. Implantadas pelas Leis 10.847¹³ e 10.848¹⁴, de março de 2004; e pelo Decreto 5.163¹⁵, de julho de

¹³ Brasil, Congresso Nacional (2004a)

¹⁴ Brasil, Congresso Nacional (2004b)

2004, o qual regulamentou as regras de comercialização de energia, sobre as concessões e as autorizações de geração de energia elétrica, buscou-se a modicidade das tarifas e a garantia de abastecimento. Para isso, surgiu o Ambiente de Contratação Regulada (ACR), cujo objetivo é realizar compra e venda de energia envolvendo as distribuidoras, e o Ambiente de Contratação Livre (ACL), no qual as operações são contratadas pelos consumidores livres (aqueles que preenchem os requisitos mínimos de potência, tensão e prazo de migração).

Um aspecto dessa reestruturação que merece ênfase refere-se aos leilões para a contratação de energia das distribuidoras, com a menor tarifa possível. A demanda dos leilões deve garantir o atendimento total dos mercados cativos de energia, através da contratação em ambiente regulado. Existem dois tipos de leilões praticados, o de energia existente ou velha (proveniente de empreendimentos existentes) e o de energia nova (provenientes de novos empreendimentos). A segurança no novo modelo seria garantida com base na contratação total da carga das distribuidoras e no estabelecimento de um lastro físico na geração, caso essas exigências não fossem respeitadas seriam impostas penalidades. Com isso, criou-se um cenário de longo prazo, reduzindo a possibilidade de falta de fornecimento de energia e obtendo um ambiente competitivo.

Paralelamente às mudanças institucionais, houve a implantação, em 2004, de instituições de coordenação e de planejamento, como:

- Empresa de Pesquisa Energética (EPE): criada pela Lei 10.847/04¹⁶, com a finalidade de realizar estudos e pesquisas que auxiliam o planejamento de longo prazo do setor de energia, sendo responsável pela elaboração do Plano Decenal de Energia (PDE), do Plano Nacional de Energia (PNE) e pelo Balanço Energético Nacional (BEN);
- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE): criada pela Lei 10.848/04¹⁷, que busca viabilizar a comercialização de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN), através dos leilões, do controle das operações e do preço de liquidação da diferença, substituindo assim o MAE;

¹⁵ Brasil, Presidência da República (2004a)

¹⁶ Brasil, Congresso Nacional (2004a)

¹⁷ Brasil, Congresso Nacional (2004b)

- Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE): criado pelo Decreto 5.175/04¹⁸, tendo como competência acompanhar o desenvolvimento das atividades de geração, transmissão, distribuição, comercialização, importação e exportação de energia elétrica, gás natural e petróleo e seus derivados; e verificar a segurança de abastecimento e o atendimento ao mercado de energia elétrica.

O modelo atual adotado no Brasil, como é ilustrado pela Figura 1.2, estabelece a seguinte relação entre as instituições responsáveis pela continuidade de um sistema estruturado e planejado.



Fonte: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

Figura 1.2 - Vinculação entre Instituições

Devido aos fatos mencionados, define-se que os objetivos do novo modelo implantado no Brasil são (CCEE, 2008):

1) Garantir a segurança do fornecimento de energia, com a contratação total das distribuidoras e dos consumidores livres, com novo cálculo para o lastro de venda de geração e contratação das hidroelétricas e termoeletricas de forma manter a continuidade e segurança do sistema;

2) Instituir modicidade tarifária, por meio de compra de energia realizada em leilões, visando a menor tarifa, advinda da redução nos custos de aquisição da energia elétrica que será repassada aos consumidores cativos¹⁹;

¹⁸ Brasil, Presidência da República (2004b)

¹⁹ Consumidores cativos são aqueles que consomem energia dos agentes de distribuição e pagam tarifas reguladas pelo sistema.

3) Implantar programas de universalização de acesso e de abastecimento de energia para consumidores que ainda não o possuem através de subsídios aos consumidores de baixa renda.

2.3.1. Regras de Comercialização de Energia Elétrica no Brasil

Com as mudanças efetivadas em 2004 no setor elétrico brasileiro, novas regras de comercialização passaram a pautar o processo de compra e venda de energia elétrica, conforme Decreto 5.163 de julho de 2004²⁰.

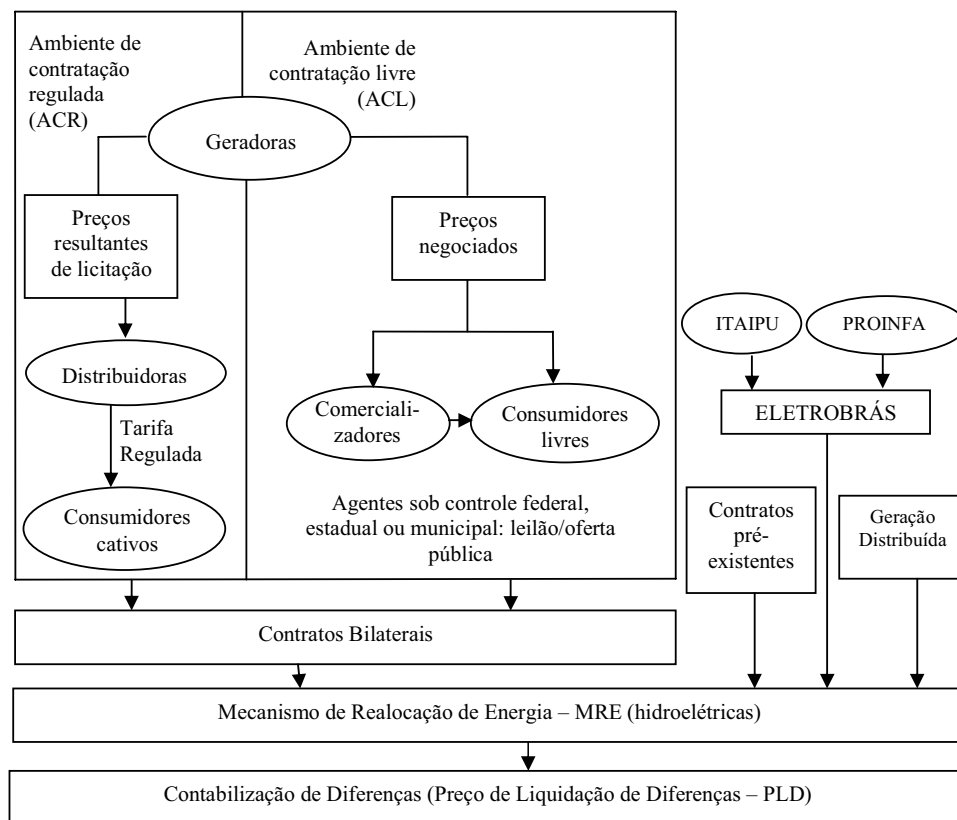
A comercialização de energia elétrica entre concessionárias, permissionários, autorizados de serviços e instalações de energia elétrica, e destes com seus consumidores, pode ocorrer nos Ambientes de Contratação Regulada ou Livre.

A Figura 1.3 representa esses ambientes de contratações e a forma na qual as negociações são realizadas no Sistema Interligado Nacional (SIN). As geradoras (agentes vendedores) devem apresentar lastro para a venda de energia, ou seja, uma garantia física e as distribuidoras devem garantir que seus contratados sejam completamente efetivados. Os contratos celebrados nos Ambientes de Contratação Regulada (ACR) e Livre (ACL) são contratos bilaterais, sendo que no ACR estes são denominados de Contrato de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado (CCEAR). É por meio de empreendimentos existentes ou novos que são realizados os leilões de energia no ACR. As geradoras determinam por licitação, na modalidade de leilão e respeitando o critério do menor preço, os preços a serem cobrados das distribuidoras para fornecerem energia. Por sua vez, as distribuidoras regulam a tarifa a serem cobradas dos consumidores cativos. No ambiente de contratação livre, os preços são negociados livremente entre os geradores, os comercializadores e os consumidores livres, conforme Decreto 5.163/2004.

O Mecanismo de Realocação de Energia (MRE) tem como objetivo o compartilhamento dos riscos hidrológicos que afetam os agentes, buscando a otimização do Sistema Interligado Nacional, com relação ao despacho centralizado das usinas de geração de eletricidade²¹.

²⁰ Brasil, Presidência da República (2004a).

²¹ Outras informações a respeito do Mecanismo de Realocação de Energia: CCEE (2008), Resolução Nº 169, de 03 de maio de 2001/ ANEEL e Decreto Nº 2.655, de 02 de julho de 1998.



Fonte: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

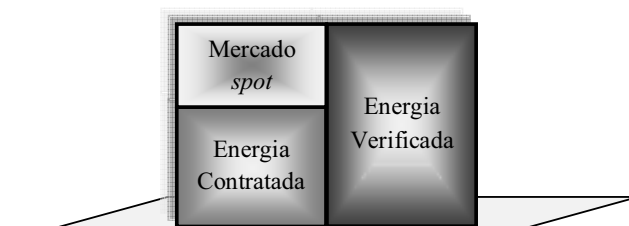
Figura 1.3 - Ambientes de Contratação de Energia no Sistema Interligado Nacional.

Como a energia é um produto que não pode ser estocado, foi criado o mercado de curto prazo, visando o ajuste das diferenças entre o volume contratado e a quantidade consumida (contabilização das diferenças), de acordo com CCEE (2008). Essas diferenças são liquidadas no mercado *spot* (mercado de curto prazo) pelo preço denominado de Preço das Liquidações das Diferenças (PLD), sendo que este reflete o custo marginal de operação do sistema como um todo. O PLD possui um limite máximo e um limite mínimo. O limite máximo é obtido pelo custo variável de operação da usina termoeletrica mais cara, e o limite mínimo considera os custos de operação e os custos de manutenção das hidroelétricas.

Visando garantir que a contratação atenda toda a demanda, são contabilizadas as energias pré-existent; as contratadas nos leilões de compra e venda de energias provenientes de empreendimentos novos, existentes, e de leilões de ajuste; as

provenientes de geração distribuída²², e as de usinas que produzem energia por fontes alternativas, como do PROINFA e de Itaipu.

Para a comercialização de energia elétrica no Brasil é fundamental a definição do montante de energia disponível no sistema, desse montante verifica-se o que foi contratado através dos leilões e a parcela restante será comercializada de forma regulada no mercado de curto prazo, como mostra a Figura 1.4 (CCEE, 2008).



Fonte: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

Figura 1.4 - Relação da Energia Comercializada

A energia contratada é comercializada nos Ambientes de Contratação Regulada e de Contratação Livre, enquanto que a quantidade de energia não incorporada nesses ambientes é transacionada no mercado *spot* (mercado de curto prazo) através do preço das Liquidações das Diferenças (PLD).

O enfoque deste trabalho é o Ambiente de Contratação Regulado²³, no qual, por meio de leilões de compra e venda de energia as distribuidoras adquirem a quantidade de energia demandada ao critério de compra pelo menor preço. Informações com relação ao funcionamento deste ambiente serão descritas na próxima seção.

2.3.2. Ambiente de Contratação Regulada (ACR)

No Ambiente de Contratação Regulada, as operações de compra e venda de energia são feitas com licitação, através de leilões promovidos pelo governo, e envolvem os agentes vendedores e os agentes de distribuição. Os agentes vendedores referem-se aos titulares das concessões, permissões ou autorizações tendo o poder de gerar, importar ou comercializar energia elétrica; estes garantem que os contratos, em

²² Geração distribuída feita pelos agentes interligados diretamente no sistema de distribuição do comprador.

²³ Por este motivo não serão abordados detalhadamente o Ambiente de Contratação Livre e o funcionamento do mercado de curto prazo.

sua totalidade, estejam assegurados mediante um lastro físico de geração para a venda de energia. Enquanto que, os agentes de distribuição são os titulares das concessões, permissões ou autorizações dos serviços e instalações que fornecem energia elétrica ao consumidor final de maneira regulada. Caso os agentes não atendam aos seus contratos originais estes poderão incorrer a penalidades como a suspensão de seus benefícios e de seus direitos de venda. Como os contratados celebrados no ACR são registrados na Câmara de Comercialização de Energia, torna-se possível manter o mercado de energia equilibrado (CCEE, 2008).

Os contratos de compra e venda de energia, realizados através de leilões, entre os agentes vendedores e os de distribuição devem respeitar os prazos de duração: de quinze a trinta anos, a partir do suprimento de “energia nova” e de cinco a quinze anos, contados do ano seguinte de realização dos leilões com relação à “energia velha”²⁴. Além disso, esses contratos podem ter a modalidade de quantidade de energia contratada, quando se trata de contratos com usinas hidroelétricas e a modalidade de disponibilidade de energia elétrica quando se referir a contratos com usinas termoelétricas. Pinto Junior *et al.* (2007) definem os contratos por quantidade de energia como sendo aqueles pelos quais os vendedores assumem o risco hidrológico. E os contratos por disponibilidade de energia são aqueles nos quais são os agentes compradores que assumem os riscos hidrológicos²⁵, ou seja, dado um período hidrológico favorável, os consumidores se beneficiam dos baixos custos de operação, enquanto que em situações adversas, estes consumidores arcam com os custos de operação e de manutenção das usinas termoelétricas.

A redução na quantidade contratada, por parte dos agentes de distribuição, poderá ocorrer diante a decisão dos consumidores potencialmente livres de comprar de outros fornecedores; de outras variações no mercado, sendo que essa redução deverá atingir apenas 4%, a cada ano, do montante inicial, tendo eficácia a partir do segundo ano subsequente ao da decisão; e de acréscimos na aquisição de energia advindos dos contratados celebrados até 16 de março de 2004 (DECRETO N° 5.163/2004).

O repasse dos custos de aquisição de energia às tarifas dos consumidores cativos efetiva-se através do Valor Anual de Referência (VR), sendo que nos anos de

²⁴ Energia velha equivale à energia existente no sistema.

²⁵ Risco hidrológico indica a dificuldade de atendimento da demanda por parte de uma hidroelétrica devido à escassez de água nos reservatórios.

2005, 2006 e 2007, o VR foi o valor máximo de aquisição de energia existente, nos leilões realizados em 2004 e 2005, para início de entrega nos anos acima descritos. Para os anos de 2008 e 2009, a ANEEL calcula o Valor Anual de Referência da seguinte maneira:

$$VR = \frac{[VL5 \cdot Q5 + VL3 \cdot Q3]}{[Q5 + Q3]} \quad (1)$$

em que:

VL5: valor médio de aquisição nos leilões de compra de energia nova, efetuados no ano A-5, ponderado pelas respectivas quantidades;

Q5: quantidade total, em MWh/ano, adquirida nos leilões de compra de energia nova, efetuados no A-5;

VL3: valor médio de aquisição nos leilões de energia nova, realizados no A-3, ponderado pelas respectivas quantidades;

Q3: quantidade total, em MWh/ano, adquirida nos leilões de compra de energia nova, efetuados no A-3.

A partir desses anos o repasse dos custos de aquisição de energia aos consumidores finais será realizado no ano base A, da seguinte forma:

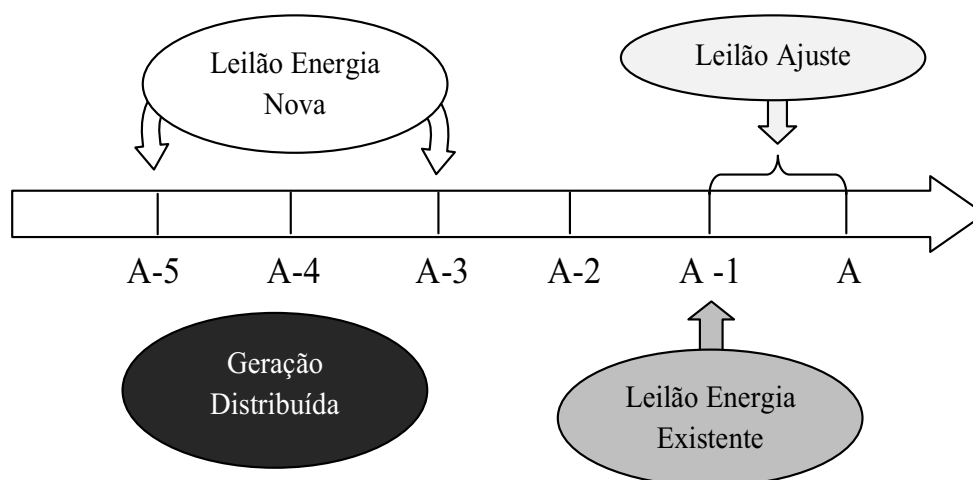
- nos leilões de energia nova, com A-5: pelo VR, durante os três primeiros anos de referência e com repasse integral do valor de aquisição a partir do quarto ano;
- nos leilões de energia nova, com A-3: pelo VR, até o terceiro ano limitado ao montante de 2% da carga da distribuidora; com repasse integral a partir do quarto ano, também limitado a 2% da carga do agente de distribuição e nas parcelas que excederem o limite têm-se o repasse ao menor valor entre o VL5 e VL3;
- nos leilões de energia existente: repasse integral dos valores de aquisição.

A próxima seção aborda algumas considerações importantes sobre os leilões, a fim de avançar nas explicações das regras de comercialização do setor elétrico brasileiro.

2.3.3. Leilões para Comercialização

O principal objetivo do leilão de energia brasileiro é promover o atendimento total da demanda de energia, além de considerar a modicidade tarifária, isto é, negociar o lote de energia pelo menor preço no leilão e, com isso, cobrar dos consumidores finais um valor baixo pela energia. Este critério é utilizado para a definição dos ganhadores dos leilões, ou seja, vence quem estabelecer o menor preço a ser cobrado por MWh.

A comercialização nos leilões segue as diretrizes do Ministério de Minas e Energia e deverá obedecer a alguns anos-base de negociações, que podem ser visualizados na Figura 1.5.



Fonte: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

Figura 1.5 - Momentos de Contratação de Energia.

Na Figura 1.5 tem-se que A corresponde ao ano de previsão para o início do suprimento de energia, sendo esta, adquirida via leilão pelos agentes de distribuição; A-1 indica o ano anterior ao início do suprimento, período em que é realizado o leilão; A-3, três anos antes ao início do suprimento, período em que é realizado o

leilão; e A-5, cinco anos antes ao início do suprimento, momento em que é realizado o leilão.

Para a garantia de funcionamento do Sistema Interligado Nacional, a contratação de energia elétrica proveniente de energia nova é feita com antecedência de três anos (A-3) e cinco anos (A-5), com prazos de vigência de 15 a 30 anos, com início de suprimento no ano A. Considerando o A-5, tem-se que os custos de aquisição são repassados integralmente aos consumidores cativos. Com relação ao A-3, só é repassado os custos de compra até o limite de 2% do mercado da distribuidora.

A energia existente será contratada por um período de 5 a 15 anos, com início de suprimento no ano subsequente ao contratado (A-1) ²⁶.

A prática de leilões de ajuste é constatada em situação nas quais as quantidades ofertadas e as demandadas não estão de acordo com os contratos efetivados. Sendo assim, esse tipo de leilão conta com um prazo de entrega de até quatro meses a partir de sua realização e de vigência de até 2 anos. E limita-se a completar apenas 1% da carga de energia da distribuidora. Este tipo de leilão não pertence ao escopo desse trabalho.

Diante desses prazos estabelecidos, percebe-se que são as distribuidoras quem assumem o risco de comercialização, pois esses agentes devem planejar e prever o comportamento do mercado por um prazo de 5 anos. Dessa forma, as distribuidoras analisam o quanto esperam que os mercados crescerão a fim de definir a quantidade que irão negociar nos leilões. Caso as projeções das distribuidoras sejam inferiores ao crescimento real do mercado, essas ficam subcontratadas, resultando na comercialização através do Preço de Liquidação de Diferenças (PLD), no mercado de curto prazo. Essas poderão sofrer penalizações, caso o valor do PLD esteja muito alto. Enquanto que, se as distribuidoras preverem um valor de crescimento acima do valor real de mercado, elas ficarão sobre contratadas, sendo que (Decreto N° 5.163/2004):

- Até 3% acima do valor previsto, as distribuidoras repassam integralmente os valores aos consumidores finais;
- Acima de 3% do valor previsto, as distribuidoras sofrem penalizações.

²⁶ O Segundo Leilão de Energia Existente, realizado em outubro de 2005, foi uma exceção. Pois, o prazo de vigência do contrato de energia foi de apenas 3 anos.

Sendo assim, uma possibilidade vantajosa para o setor de energia seria que as distribuidoras fizessem previsões acima ou igual ao comportamento do mercado, para que não haja falta de atendimento por parte da demanda do consumidor. Entretanto, para as distribuidoras isso se tornaria muito arriscado. Essas só podem alterar seu contrato quando um consumidor livre expressa antecipadamente sua vontade de sair desse mercado, tornando essa prática uma oportunidade de se ajustarem ao mercado devido previsões equivocadas. A seguir é apresentado o histórico dos leilões de energia, existente e nova, realizados no Brasil até 2008, seus resultados, assim como as sistemáticas destes leilões.

2.3.4. Procedimentos dos Leilões de Energia

2.3.4.1. Leilões de Energia no Brasil

Os procedimentos de leilões para a comercialização de energia elétrica no Brasil começaram recentemente, a partir de 2004. Todavia um longo período de contratação já foi estabelecido.

Como mostra a Tabela 1.1, em 2004, uma grande quantidade de lotes de energia foi contratada para suprir a necessidade inicial de contratação de energia existente no momento de transição dos processos de comercialização. Sendo assim, estabeleceu-se o Mega-leilão, no qual foram negociados três produtos em uma única data (leilão multi-produto), com início de suprimento em anos diferentes: 2005, 2006 e 2007. O Segundo Leilão de Energia Existente previa a comercialização de dois produtos, porém, o segundo produto não foi vendido. O Terceiro Leilão de Energia Existente é uma exceção com relação ao prazo de vigência, este foi contratado pelo prazo de três anos. O Quarto Leilão de Energia Existente foi realizado visando cobrir a quantidade de energia que deixou de ser contratada no Segundo Leilão de Energia Existente, 2º produto. No Sexto Leilão de Energia Existente não houveram negociações (CCEE, 2008).

Tabela 1.1 - Histórico dos Leilões de Energia Elétrica realizados de 2004 a 2008.

Tipos de energia contratadas nos leilões	Data de realização do leilão	Prazo de vigência	Início de suprimento	Fonte de energia	Tipos de leilões	Quantidade de Energia Contratada
1º Leilão Energia Existente	07/12/2004	8 anos	2005	-	-	9054 lotes
	07/12/2004	8 anos	2006	-	-	6782 lotes
	07/12/2004	8 anos	2007	-	-	1172 lotes
2º Leilão Energia Existente	02/04/2005	8 anos	2008	-	-	1325 lotes
	02/04/2005	8 anos	2009	-	-	-
3º Leilão Energia Existente	11/10/2005	3 anos	2006	-	-	102 lotes
4º Leilão Energia Existente	11/10/2005	8 anos	2009	-	-	1166 lotes
5º Leilão Energia Existente	14/12/2006	8 anos	2007	-	-	204 lotes
6º Leilão Energia Existente	06/12/2007	5 anos	2008	-	-	Não houve negociação
1º Leilão Energia Nova	16/12/2005	30 anos	2008	Hidroelétrica	A-5	71 lotes
	16/12/2005	30 anos	2009	Hidroelétrica	A-5	46 lotes
	16/12/2005	30 anos	2010	Hidroelétrica	A-5	889 lotes
	16/12/2005	15 anos	2008	Termoelétrica	A-3	561 lotes
	16/12/2005	15 anos	2009	Termoelétrica	A-3	855 lotes
	16/12/2005	15 anos	2010	Termoelétrica	A-3	862 lotes
2º Leilão Energia Nova	29/06/2006	30 anos	2009	Hidroelétrica	A-3	1028 lotes
	29/06/2006	15 anos	2009	Termoelétrica	A-3	654 lotes
3º Leilão Energia Nova	10/10/2006	30 anos	2011	Hidroelétrica	A-5	569 lotes
	10/10/2006	15 anos	2011	Termoelétrica	A-5	535 lotes
4º Leilão Energia Nova	26/07/2007	30 anos	2010	Hidroelétrica	A-3	-
	26/07/2007	30 anos	2012	Hidroelétrica	A-5	-
	26/07/2007	15 anos	2010	Termoelétrica	A-3	1304 lotes
	26/07/2007	15 anos	2012	Termoelétrica	A-5	-
5º Leilão Energia Nova	16/10/2007	30 anos	2012	Hidroelétrica	A-5	715 lotes
	16/10/2007	15 anos	2012	Termoelétrica	A-5	1597 lotes
6º Leilão Energia Nova	17/09/2008	30 anos	2011	Hidroelétrica	A-3	-
	17/09/2008	15 anos	2011	Outras Fontes*	A-3	1076 lotes
7º Leilão Energia Nova	30/09/2008	30 anos	2013	Hidroelétrica	A-5	121 lotes
	30/09/2008	15 anos	2013	Outras Fontes**	A-5	3004 lotes

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da CCEE. OBS: 1 lote = 1 MW médio. * Gás Natural e Óleo Combustível. ** Gás Natural, Óleo Combustível, Bagaço de Cana e Carvão.

Os tipos de leilões de energia nova eram classificados inicialmente como A-5 advindos de empreendimentos hidroelétricos, e A-3 correspondiam a empreendimentos termoelétricos. Contudo, como pode ser observado na Tabela 1.1, apenas o Primeiro Leilão de Energia Nova, seguiu essa sistemática. Neste leilão, aproximadamente 70% dos contratos eram provenientes de fontes hidroelétricas. Segundo Senju e Silva (2006), no Primeiro Leilão de Energia Nova verificou-se uma falta de competitividade, devido ao fato de que os grandes vencedores serem empresas geradoras públicas.

No Segundo Leilão de Energia Nova, de acordo com a Tabela 1.1, essa proporção reduziu, atingindo 61,11% de contratos hidroelétricos, e 38,89% de contratos termoelétricos. O Terceiro Leilão de Energia Nova foi marcado por um pouco mais da metade, 51,54%, referentes à contratação de hidroelétricas e o restante, 48,46% termoelétricas. A partir do Quarto Leilão de Energia Nova, as fontes termoelétricas passaram a ser negociadas em quantidades superiores às hidroelétricas, sendo que neste leilão a negociação total foi de fontes termoelétricas. No Quinto Leilão de Energia Nova, apenas 30,93% dos contratos eram hidroelétricos. Enquanto que, no Sexto Leilão, 100% da comercialização eram oriundas de outras fontes de energia, especificamente usinas de gás natural e de óleos combustíveis. No Sétimo Leilão de Energia Nova, os contratos eram originários em sua maioria de outras fontes: gás natural, óleo combustível, bagaço de cana e carvão. Porém, esse panorama reflete a contratação de energia procedente de fontes altamente poluentes e também de altos custos. Por isso, será necessária uma medida que limite contratações deste tipo, visando manter a integridade do novo modelo, bem como a adoção de tarifa de baixo preço aos consumidores finais.

De acordo com Costa e Pierobon (2008), tem sido registrada, ao longo dos processos de leilões, uma redução na oferta de energia advinda de fontes hidroelétricas, devido ao atraso nos estudos referentes às bacias hidrográficas, com isso, tem aumentado a participação das termoelétricas, tornando necessária à atração de investimentos para fontes renováveis de energia.

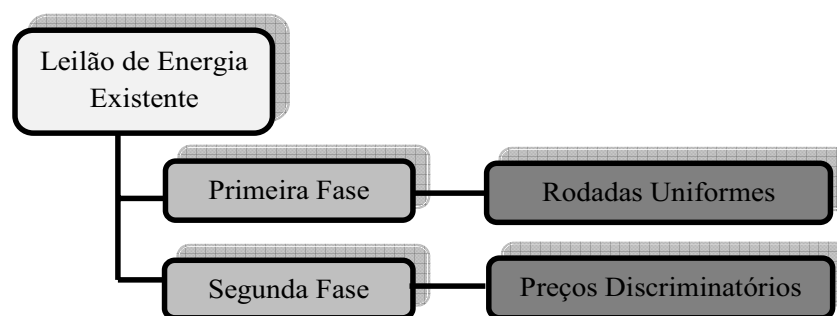
A seção seguinte demonstra como os leilões de energia existente são realizados.

2.3.4.2. Sistemática dos Leilões de Energia Existente

O mecanismo de leilão de energia elétrica existente no Brasil sofreu algumas alterações em sua estrutura desde o Primeiro Leilão realizado em 2004, visando um processo que atenda às necessidades do setor elétrico. Essas alterações são descritas nos editais de leilões e nos detalhamentos da sistemática dos leilões publicados pela ANEEL (ANEEL, 2007).

O procedimento de um leilão de energia existente, atualmente, inicia-se 60 dias antes da realização dos lances com a declaração por parte das distribuidoras da quantidade de energia que pretendem negociar no leilão, a fim de atender à demanda por energia elétrica. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) processa o somatório das quantidades demandadas e o denomina Quantidade Total Demandada (QTD)²⁷. Sendo assim, estabelece uma Oferta de Referência (OR), superior à QTD, ao preço inicial.

A sistemática desse leilão é composta por duas fases, como demonstra a Figura 1.6. Na primeira, são determinadas as quantidades que serão contratadas, já na segunda fase, tem-se a determinação do preço, respeitando a comercialização da energia pelo menor preço.



Fonte: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

Figura 1.6 - Fases do Leilão de Energia Existente.

Na primeira fase, faz presente um número indeterminado de rodada para o ajuste da quantidade a ser ofertada, através de decrementos nos preços. Portanto, os proponentes vendedores, em cada rodada, lançam um valor para a quantidade de

²⁷ A QTD é determinada em lotes, sendo que cada lote corresponde a 1MW médio, ou seja, a menor parcela do produto.

lotes ao preço do lance. Sendo assim, a quantidade de lotes declarada deverá respeitar o lastro para venda, na primeira rodada e nas demais, o mínimo entre o lastro para venda ou o somatório dos lotes do lance válido nas rodadas precedentes. Caso os decrementos sejam excessivos e preço do lance fique abaixo do PLD mínimo, despreza-se essa última rodada e adota-se a quantidade ofertada na rodada anterior. Em cada rodada tem-se uma nova Quantidade Total Ofertada²⁸ (QTO), pela qual existem as seguintes relações: $QTO > QTD$ e $QTO > OR$.

Nas próximas rodadas, o preço vai reduzindo até que: $QTD < QTO < OR$. Nesse ponto, os lances se cessam e o sistema determina as quantidades de lotes por aquele preço, os quais serão negociados na próxima fase.

Na segunda fase, composta por um único lance em envelope fechado, só prosseguem na disputa os participantes previamente qualificados, ou seja, aqueles agentes que ofertaram seus lotes pelo preço de fechamento da primeira fase²⁹. Esse é o momento de determinar o preço de venda dos lotes de energia.

Nessa fase, cada proponente vendedor faz lance de preço para a totalidade de lotes determinada na fase anterior. Caso um proponente vendedor não lance preço na segunda fase, o sistema considera como seu preço o valor da primeira fase encerrada.

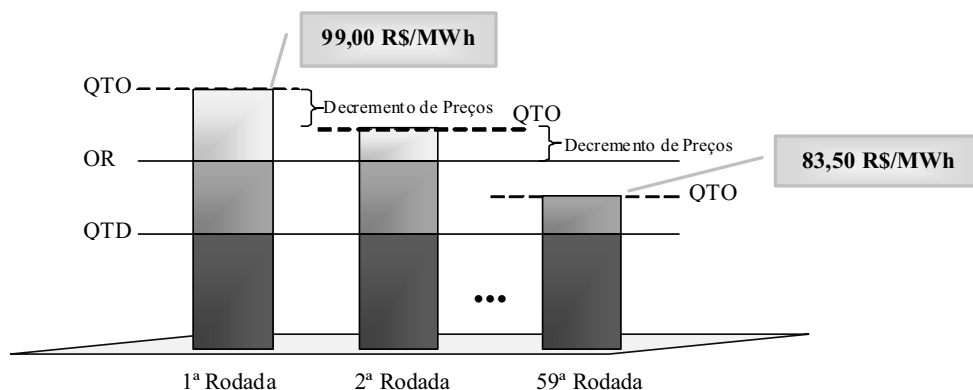
Após o término da segunda fase, o sistema ordena os lances por ordem crescente dos preços dos lances e classifica os lotes em atendidos ou não atendidos, de acordo com a quantidade total demandada. Os preços de fechamento são discriminatórios, ou seja, correspondem aos valores ofertados, na segunda fase, por cada proponente vendedor que tiverem suas quantidades de lotes, total ou parcialmente atendidas.

Como exemplo do funcionamento dos leilões no mercado de energia brasileiro, cita-se o Segundo Leilão de Energia Existente³⁰ (Primeiro Produto), no qual o preço inicial estipulado pelo EPE foi de 99,00 R\$/MWh, tendo sofrido decrementos durante 59 rodadas e atingindo um preço final na primeira fase de 83,50 R\$/MWh, o que corresponde a um decréscimo de 18,55%, conforme Figura 1.7. Nesta primeira fase, foram determinadas as quantidades que cada participante do leilão estava disposto a vender pelo preço máximo de 83,50 R\$/MWh.

²⁸ Quantidade Total Ofertada (QTO) corresponde ao somatório das quantidades ofertadas dos lotes de lances válidos para o produto que está sendo leilado.

²⁹ Os lotes que deixam de ser negociados na primeira fase são chamados de lotes excluídos.

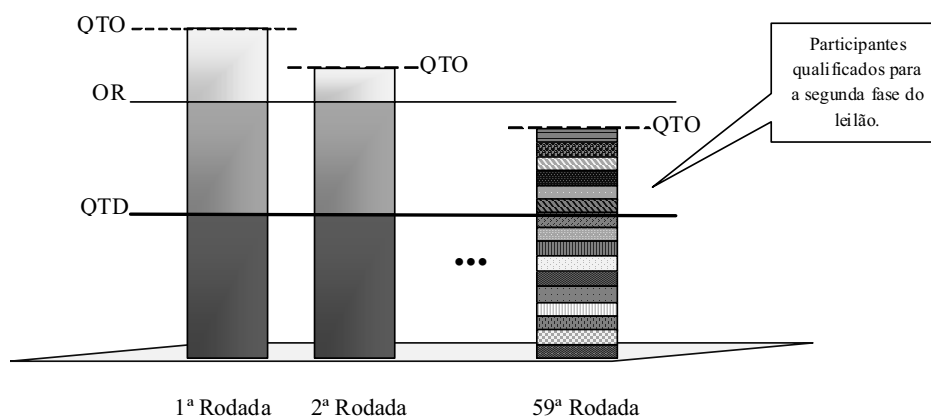
³⁰ Foi apresentado um exemplo didático somente do tipo de leilão A-1, uma vez que a simulação de leilão proposta neste trabalho considera apenas os leilões de energia existente.



Fonte: Elaboração Própria a partir dos dados da CCEE.

Figura 1.7 - Sistematização da Primeira Fase do Segundo Leilão de Energia Existente.

A Figura 1.8 apresenta os participantes qualificados para a segunda fase do Segundo Leilão de Energia Existente, bem como suas quantidades de lotes disponíveis a serem contratadas. Nesta segunda fase, os participantes qualificados lançaram em envelopes fechados seus lances de preços, sendo que vencerá aquele que aceitar vender as quantidades determinadas na primeira fase pelo menor preço.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 1.8 - Participantes Qualificados para a Segunda Fase do Segundo Leilão de Energia Existente.

O maior preço lançado na segunda fase do leilão foi de 83 R\$/MWh (valor de fechamento na primeira fase), ação tomada por 5 dos 16 vendedores qualificados para esta fase. O menor preço oferecido em envelope fechado pelos participantes correspondeu ao valor de 78,50 R\$/MWh, como demonstra a Figura 1.9.

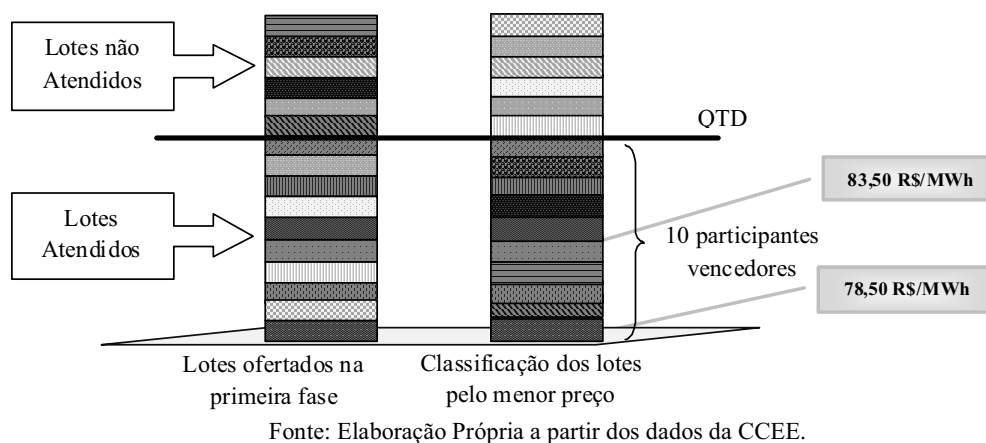
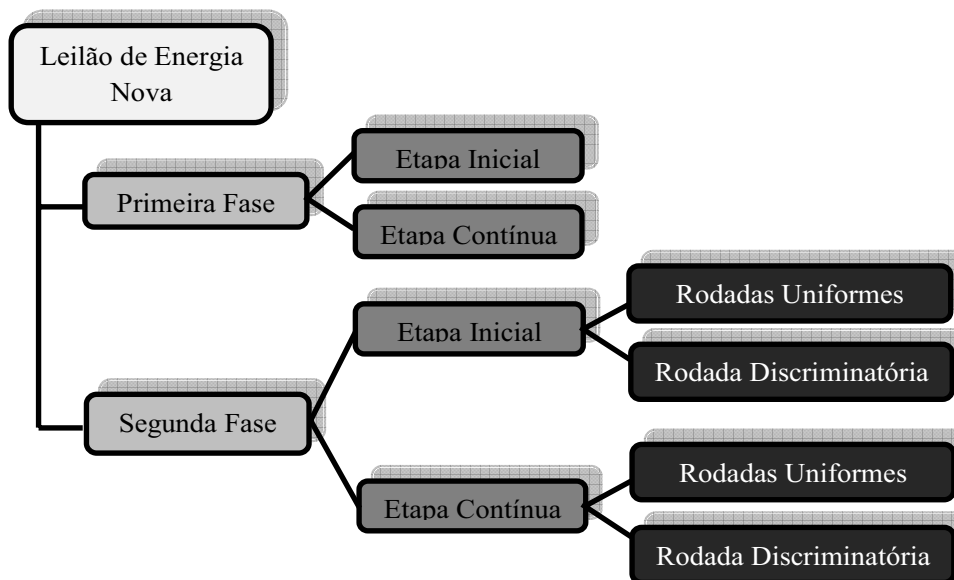


Figura 1.9 - Determinação dos Lotes Atendidos e não Atendidos no Segundo Leilão de Energia Existente.

Aqueles participantes que lançaram preços inferiores a 83,50 R\$/MWh tiveram seus lotes de energia atendidos, ou seja, vendidos. As geradoras que lançaram preços equivalentes a este valor, por seleção randômica, garantiram a venda de seus lotes no leilão. Enquanto que, aquelas que lançaram valores acima de 83,50 R\$/MWh, não venceram este leilão e consequentemente tiveram lotes não atendidos.

2.3.4.3. Sistemática dos Leilões de Energia Nova

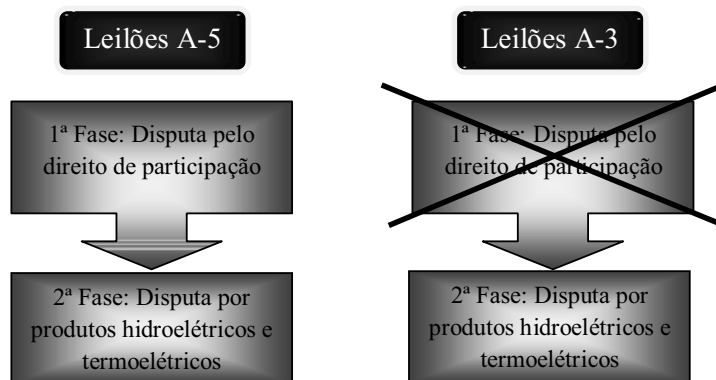
A sistemática dos Leilões de Energia Nova (A-5), definida pela ANEEL, segue duas fases, como pode ser observado na Figura 1.10. A primeira fase é composta pelas etapas inicial e contínua e a segunda fase contém rodadas uniformes e discriminatórias em suas duas etapas: hídrica e térmica.



Fonte: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

Figura 1.10 - Fases do Leilão de Energia Nova.

Nos leilões A-3 a primeira fase é desprezada, pois não existe a disputa pelo empreendimento a ser construído ou explorado, conforme Figura 1.11. Sendo assim, neste tipo de leilões a disputa inicia-se na segunda fase.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 1.11 - Diferenciação das Fases nos Leilões A-5 e A-3.

Na etapa inicial do leilão A-5 (Figura 1.10), os empreendedores disputam a concessão para a construção ou a exploração de novos empreendimentos. Os empreendedores serão pré-qualificados para permanência no leilão quando apresentarem a garantia da proposta. Na etapa inicial, os empreendedores pré-

qualificados submetem um único lance com um preço menor ou igual ao preço inicial da primeira etapa. Ocorre uma análise dos lances, e prosseguem na etapa contínua apenas aqueles agentes que lançaram valores até 5% superior ao menor lance realizado. Esta nova etapa inicia-se com o preço corrente igual ao menor preço definido na etapa anterior subtraído o decremento mínimo da primeira fase. Caso alguns participantes proponham lances equivalentes ao menor preço na etapa inicial, o sistema fará o desempate por uma seleção randômica automática (CCEE, 2008).

Ao final da etapa contínua, o direito de participação irá para aqueles empreendedores que oferecerem o preço do lance correspondente ao último preço corrente para o novo empreendimento de fonte hídrica. Ocorrerá uma nova licitação, na qual cada empreendedor detentor do direito de participação informará a fração de energia assegurada no novo empreendimento hidroelétrico a ser destinada ao ACR, no mínimo 10% do suprimento. Desse modo, o detentor do direito de participação passará a ser o proponente vendedor desse novo empreendimento na segunda fase do leilão com a totalidade de lotes correspondentes à fração destinada ao ACR. O valor da garantia física multiplicada pelo percentual destinado ao ACR, indicará o lastro para venda do novo empreendimento. O preço do lance corresponderá a uma quantidade de lotes igual ou inferior ao seu lastro para venda, exceto para o novo empreendimento de fonte hidroelétrica que corresponderá aos lotes totais destinados ao ACR.

A segunda fase, conforme a Figura 1.10, a etapa hídrica, terá rodadas uniformes, nas quais, em cada uma delas, existirão decrementos de preços e conseqüentemente, novos lances de quantidades associados ao preço do lance. Terminada cada rodada, o sistema calcula a quantidade demandada e a oferta de referência para o produto hídrico, caso a quantidade ofertada seja maior que zero. As rodadas uniformes continuam, até que: quantidade ofertada seja menor do que a oferta de referência, sendo que se a quantidade ofertada do produto hidroelétrico for zero, a etapa térmica inicia-se imediatamente. Na rodada discriminatória, ocorre a submissão de um único lance com o preço do lance associado à quantidade de lotes definidos para essa etapa. Os lotes são classificados como lotes atendidos e não atendidos. Os lotes atendidos se referem àqueles que quantidade ofertada igual a oferta de referência

A etapa térmica tem rodadas uniformes, com a definição das quantidades de lotes térmicos associados ao preço do lance. O rendimento do empreendimento será a

receita fixa auferida e não mais o valor do lote unitário. Como ocorreu na etapa hídrica, as rodadas são realizadas até o ponto em que quantidade ofertada menor do que oferta de referência, dando início a rodada discriminatória. Por sua vez, na rodada discriminatória da etapa térmica, cada proponente vendedor submete uma receita fixa que resulte em um Índice de Custo Benefício (ICB), calculado pelo sistema, inferior ao valor do lance subtraído do percentual para validação do lance. Após a submissão de lances, o sistema ordena por ordem crescente os valores dos lances e classifica os lotes associados com lotes atendidos ou não, com relação na quantidade demandada do produto.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção discute os trabalhos que abordam a reestruturação do setor elétrico brasileiro a partir de 2004. Como este fato data um momento muito recente, cresce a importância de se avaliar o comportamento do setor elétrico frente aos últimos acontecimentos. Em Castro (2004) foram avaliados os riscos das distribuidoras em se fazer previsões e contratações de mercado no longo prazo, e em Azevedo (2004) foi elaborado um modelo que auxiliava os participantes dos leilões a definirem seus lances no jogo. Fittipaldi (2005) propôs uma nova modelagem para os processos de leilões. Carneiro (2006) avalia os leilões de eletricidade de longo prazo realizados no Brasil, baseando-se na Teoria dos Leilões e em experiências internacionais. A partir do ano de 2006 análises críticas foram elaboradas a respeito dos procedimentos de leilões, sendo que Correia, Melo e Costa (2006a) discutiram o desenho de leilão adotado para comercialização de energia existente; e Senju e Silva (2006) analisaram os resultados do Primeiro Leilão de Energia Nova. Alguns estudos foram realizados visando à obtenção de estratégias de contratações para as distribuidoras de energia, contudo estes se diferem, na maioria das vezes, pela metodologia utilizada e pela abordagem considerada para o problema, podendo ser citados: Dias (2006), Susteras (2006), Guimarães (2006) e Dias (2007). Os parágrafos seguintes contêm o objetivo proposto e os resultados alcançados por cada um destes estudos.

Castro (2004) estimou o risco que uma distribuidora de energia esta disposta a correr ao prever seu mercado cinco antes do início dos contratos. Para isso, realizou uma simulação Monte Carlo visando analisar as conseqüências de se ter uma diferença entre o montante contrato e o valor verificado, que serão liquidados no

mercado de curto prazo, para os anos de 2009, 2010 e 2011 (utilizou cenários de contratos efetuados nos leilões de 2004, de ajuste, A-1, A-3 e A-5). Seus resultados apontaram para o fato de que a melhor opção para as empresas é adotar uma estratégia conservadora com relação ao volume contratado, ou seja, contratar um maior montante nos leilões de 2004 com entrega de energia a partir de 2006, evitando a participação nos leilões de ajustes (com preços mais elevados e contratos de curta duração). E a pior opção de contratação é aquela na qual se contrata menos energia no ano de 2004, sofrendo o risco de ficar descontratado e, com isso, de sofrer penalizações.

Azevedo (2004) desenvolveu um modelo computacional (modelo de otimização) baseado em Teoria dos Jogos não cooperativos de informação incompleta, no qual é considerada a competição entre os agentes dos leilões de contratos bilaterais de energia. Esse modelo auxilia os agentes na definição de seus lances, possibilitando a realização de análises de sensibilidade baseadas nas crenças de comportamento de mercado e dos outros agentes.

Fittipaldi (2005) apresentou as causas e as repercussões das reformas do setor elétrico brasileiro. Propôs uma modelagem alternativa para os processos de leilões de energia existente, baseado em um modelo de produtos heterogêneos, com agentes não identificados, preços determinados pelos vendedores e preço reserva definido pelo leiloeiro. Em sua modelagem, o autor descreve um leilão com quatro fases, sendo a primeira referente a um mecanismo de formação de *matchings* estáveis. Na segunda fase, o governo sinaliza às compradoras ou às vendedoras se elas devem aumentar ou diminuir seu preço considerando o preço reserva. Na terceira fase, o governo revela aos participantes a totalidade de cada produto leiloadado juntamente com um excedente de quantidade. Diante disso, é realizado um leilão de compra, no qual os vendedores fazem lances de preços e quantidades em cada rodada. Na quarta fase, dadas as quantidades já definidas na última rodada da fase anterior, são feitos lances de preços, sendo que o preço de fechamento segue o tipo “segundo preço escalonado”, em que o vendedor que oferta o menor preço recebe o segundo menor preço, o representante do segundo menor preço, recebe o terceiro preço mais baixo e assim por diante. O que de acordo com Krishna (2002) é definido como leilão de segundo preço. Essa forma de leilão tem como resultado os vendedores ofertando suas próprias valorações. O autor expõe que o seu modelo proposto leva a preços finais menores, pois os agentes ofertantes lançam no leilão suas próprias valorações –

Leilão de Segundo Preço – e com isso, conclui que sua modelagem atinge os objetivos de modicidade tarifária e de suprimento de energia com maior eficiência, quando comparada ao modelo utilizado, atualmente, no setor elétrico.

Carneiro (2006) realizou uma análise crítica sobre as regras de comercialização aplicadas nos leilões de longo prazo no setor elétrico brasileiro, concluindo que as falhas verificadas no modelo causaram comportamentos indesejados entre os participantes vendedores, pois, muitas vezes, a oferta determinada em cada leilão (ou seja, a competição real) não corresponde à verdadeira oferta. Apontou, ainda, que os objetivos de crescimento da oferta futura e de modicidade tarifária foram atingidos, contudo o atendimento à demanda não se concretizou conforme o esperado.

Correia, Melo e Costa (2006a) apontaram as características teóricas da teoria dos leilões visando determinar os aspectos que influenciaram à adoção dos modelos de leilões utilizados no mercado energético brasileiro. E compararam os resultados dos dois primeiros leilões de energia existente, descrevendo que no Segundo Leilão de Energia Existente parte da demanda não foi atendida, tanto pela expectativa de alocação de energia em leilões futuros, quanto pela incerteza nos contratos de uma importadora de energia, o que resultou na segunda fase, em um lançamento de preço baixo, a fim de evitar o risco de ficar descontratado.

Através dos resultados do Primeiro Leilão de Energia Nova, em dezembro de 2005, Senju e Silva (2006) verificaram a falta de competitividade no mecanismo de leilão de eletricidade brasileiro. Os resultados indicaram que os vencedores dos leilões foram principalmente empresas estatais, levando às autoras a concluir que a falta de competitividade dever-se-ia aos seguintes aspectos: elevados investimentos necessários e com longos prazos de maturação, altas taxas de tributação e falta de transparência nos procedimentos de leilões, que beneficiaram algumas empresas estatais por meio de informações privilegiadas, dada a assimetria de informações.

Dias (2006) criou vários cenários de demanda, visando avaliar os riscos e as incertezas que as empresas distribuidoras incorrem nos processos de leilões de energia. Pela falta de dados estatísticos utilizou uma metodologia voltada à programação estocástica, que considerava o Value-at-Risk, para determinar o menor custo esperado, a fim de obter um portfólio de contratação ótimo para essas empresas.

Susteras (2006) elaborou uma ferramenta computacional de otimização, utilizando algoritmos genéticos, através da qual comparou seus resultados encontrados com as estratégias de contratações da distribuidora COPEL, permitindo, assim, indicar a consistência de seu trabalho.

Guimarães (2006) desenvolveu uma ferramenta computacional que auxilia uma distribuidora no estabelecimento de sua estratégia de contratação, buscando minimizar seus riscos de sub e sobrecontratação, ou seja, reduzindo suas penalidades, dadas as incertezas na demanda de mercado. O autor baseou-se nos três primeiros Leilões de Energia Existente e no primeiro Leilão de Energia Nova e considerou três cenários de crescimento da demanda: um baixo, um médio e um alto. A metodologia utilizada aborda uma otimização estocástica multi-estágio, utilizando a modelagem por árvore de cenários e levou à sinalização de que as distribuidoras evitam a subcontratação, visando não incorrer em penalidades.

Dias (2007) elaborou uma metodologia de gestão de compra de energia, a qual auxilia a tomada de decisão sob as incertezas do setor. Em sua metodologia buscou minimizar os riscos financeiros referentes à subcontratação e à sobrecontratação por parte das distribuidoras. Sendo assim, utilizou a técnica de Algoritmos Genéticos, a fim de determinar as ações de contratações nos leilões de A-5, A-3, A-1 e de ajuste, baseado na elaboração de três cenários e no período de 2006 a 2011. Seus resultados apontam que quando se aumenta os tipos de leilões, nos quais as distribuidoras podem participar, menor são os riscos financeiros destas ficarem sub ou sobrecontratada.

Dessa forma, o presente trabalho contribui por apresentar uma discussão dos resultados dos leilões de energia existente e nova realizados até 2008, por buscar as melhores ações a serem tomadas visando a minimização da função objetivo de custo das distribuidoras; e por simular às prováveis ações dos agentes vendedores de energia no processo de leilão de energia existente, dado o formato seguido no mercado brasileiro.

CAPÍTULO 2

TEORIA DOS JOGOS: TEORIA DOS LEILÕES

1. INTRODUÇÃO

As decisões a serem tomadas pelas distribuidoras na definição do momento da contratação, bem como a quantidade a ser comprada em cada leilão; e a decisão de quanto vender por parte das geradoras, levando em consideração o preço máximo estipulado, são problemas especificamente de escolhas dadas as incertezas do mercado e das decisões dos oponentes. Sendo assim, a Teoria dos Leilões apresenta os modelos que podem ser adotados, bem como fornece um direcionamento com relação às repercussões da ação dos agentes participantes.

2. TEORIA DOS LEILÕES

Após a década de noventa, a indústria de energia elétrica brasileira foi dividida nos seguintes segmentos: geração, transmissão, distribuição e comercialização. Destes, a transmissão e distribuição, são monopólios naturais, então a obtenção de eficiência econômica apóia-se na regulação estatal. Enquanto que, a geração e a comercialização seguem processos competitivos voltados à modicidade tarifária, sendo realizados através do mecanismo de mercado denominado de leilão. Como aponta Carneiro (2006), o objetivo do governo, ao adotar essa medida, era acentuar a concorrência no setor elétrico, pois a teoria econômica pondera que a

competição é mais efetiva do que a regulação para se cortar custos, o que melhoraria a eficiência produtiva.

Klemperer (2004) destaca a influência direta entre leilões e mercados competitivos e da Teoria dos Leilões Ótimos com a Teoria dos Preços de Monopólios, além de apontar a importância dos conceitos da teoria dos leilões na teoria econômica. Este fato pode ser observado pela elevação da quantidade de transações realizadas por meio de leilões e dos novos desenhos de mecanismos que tem sido desenvolvidos. McAfee e McMillan (1987) afirmam que os estudos de leilões levam a um caminho de aproximação da formação de preços.

O mercado de comercialização de energia elétrica brasileiro foi modelado segundo conceitos da Teoria dos Leilões, no qual estão presentes assimetria de informações, decisão a longo prazo, maximização do rendimento, posição quanto ao risco, dentre outras características. Sendo assim, aponta-se que este setor enquadra-se nos conceitos de um jogo dinâmico com informações imperfeitas³¹. Mesmo diante dessas dificuldades econômicas, faz-se necessário a determinação de um mecanismo ótimo que proporcione a satisfação desejada aos agentes envolvidos, dadas regras claras necessárias ao bom desenvolvimento do mercado.

Klemperer (2004) mostra ainda, que a característica chave dos leilões é a presença de informações imperfeitas, como é o caso brasileiro, em que, os participantes do processo não possuem informações perfeitas sobre as ações de seus oponentes e sobre algumas características do mercado. Dado esse ambiente econômico com riscos e incertezas, torna-se fundamental a definição de uma estratégia de ação que garanta ao participante do leilão o maior rendimento possível.

Segundo Milgrom (2003), o leilão é um mecanismo de alocação de recursos entre um grupo de jogadores, sendo que este mecanismo é composto por três partes principais, são elas: a descrição dos jogadores potenciais (informações sobre o vendedor); o conjunto de possíveis alocações de recursos (descreve os recursos de cada participante e se há existência de restrições na alocação); e os valores das alocações de recursos de cada participante.

³¹ Neste jogo verifica-se a incerteza dos agentes quanto às suas decisões (indefinição do melhor momento e da quantidade de contratação por parte das distribuidoras e as imprecisões quanto às ações tomadas pelos oponentes no leilão), ou seja, corresponde a uma decisão envolvendo incerteza, a qual pode ser avaliada sob a óptica da Teoria da Escolha (MAS-COLELL, WHINSTON e GREEN, 1995).

Para McAfee e McMillan (1987), leilão é uma instituição de mercado com um conjunto explícito de regras que determinam a alocação de recursos e preços com base nos lances dos participantes.

Para que as distribuidoras (as compradoras do leilão) determinem suas ações devem considerar os lances dos agentes vendedores (as geradoras), pois os lances vencedores constituirão seus custos nos anos posteriores. Então, a fim de definir os momentos certos de se contratar (A-1, A-3 e/ou A-5) as distribuidoras deverão se informar sobre os tipos de vendedores, as crenças, suas estratégias de ações; para que tenham uma ferramenta importante nas tomadas de decisões.

Dessa forma, as ações escolhidas pelas distribuidoras são aquelas que lhes proporcionem uma maior utilidade esperada, dadas as incertezas quanto ao crescimento da demanda de mercado, às quantidades de energia a serem contratadas, ao período de contratação e, conseqüentemente, ao tipo de leilão em que comprará energia. Assim, essas escolhas dependerão das preferências das distribuidoras diante dos diferentes estados da natureza (isto é, dos resultados de eventos aleatórios), sendo que suas crenças são baseadas na probabilidade de ocorrência de cada estado.

Enquanto que, os jogadores vendedores do leilão fazem seus lances visando vencer o jogo, porém, o lance para se vencer não é determinado de maneira simples. Pois, cada um dos participantes atribui um valor ao objeto e, com informações imperfeitas sobre os valores atribuídos e as estratégias dos demais jogadores, devem lançar um valor que possibilite vencer o leilão, e com isso, atingir o equilíbrio estratégico.

Normalmente, o equilíbrio estratégico do jogo é definido como Equilíbrio de Nash Bayesiano (ENB). Osborne e Rubinstein (1994) definem o Equilíbrio de Nash de um jogo Bayesiano como sendo o equilíbrio de um jogo estratégico $\langle N, \Omega, (A_i), (T_i), (\tau_i), (p_i), (\succsim_i) \rangle$, cuja estrutura é caracterizada por:

- (i) O conjunto de jogadores é um conjunto de pares ordenados (i, t_i) , $i \in \mathbb{R}$ e $t_i \in T_i$;
- (ii) O conjunto de ações de cada jogador (i, t_i) é A_i ; e
- (iii) As preferências ordenadas $\succsim_{(i,t_i)}^*$ de cada jogador (i, t_i) são definidas como $a^* \succ_{(i,t_i)} b^* \leftrightarrow L_i(a^*, t_i) \succeq L_i(b^*, t_i)$, no qual $L_i(a^*, t_i)$ é uma loteria sobre $A \times \Omega$ que indica $p_i(w)/p_i(\tau_i^{-1}(t_i))$ para

$$\begin{cases} \left(\left(a^* \left(j, \Gamma_j(w) \right) \right)_{j \in \mathbb{N}}, w \right), & \text{se } w \in \Gamma_i^{-1}(t_i); \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (2)$$

em que:

N : o número de jogadores, com i elementos finitos, pertencentes ao conjunto dos números naturais;

Ω : conjunto de estados da natureza, com $w \in \Omega$, finito;

A_i : conjunto de ações dos jogadores;

T_i : conjunto de sinais ou tipos dos jogadores;

Γ_i : conjunto das mensagens dos sinais ou dos tipos;

P_i : probabilidade de cada jogador;

\succsim_i : preferências dos jogadores, no conjunto de probabilidades; e

$a^* e b^*$: ações ótimas, que maximizam as utilidades, dados jogadores racionais.

Dessa forma, cada jogador, no ENB, escolhe a melhor ação possível dado o sinal recebido, baseado em sua crença sobre o estado da natureza e a ação dos outros jogadores. Sendo assim, quanto maior o número de informações sobre o oponente melhor será a tomada de decisão.

Os leilões podem ser classificados em tipos, os quais de acordo com Krishna (2002) podem ser:

- Leilões Abertos: nos quais as ofertas lançadas são anunciadas aberta e explicitamente (podendo ser mantido em sigilo o valor que cada participante lançou).

Destacam-se:

a) Leilão Ascendente ou Leilão Inglês: o preço é sucessivamente elevado, sendo que quando o preço do leilão atinge o valor máximo dos lançadores, estes desistem do jogo, até que permaneça apenas um jogador, que será o vencedor do objeto pagando o preço final (os participantes podem se beneficiar das informações obtidas em leilões anteriores, levando vantagens aqueles que observarem e avaliarem melhor as informações);

b) Leilão Descendente ou Leilão Holandês: o leilão inicia-se com um valor muito alto, sendo reduzido à medida que os lances vão sendo revelados; o primeiro agente que aceita o preço corrente é o vencedor.

▪ Leilões Fechados: os lances são realizados em envelopes fechados e em uma única rodada, também conhecidos como *one shot game*. Nesta forma, os participantes não têm acessos aos lances efetuados. Ressaltando-se:

a) Leilão de Primeiro Preço: ganha o agente que oferecer o maior lance, sendo o preço final do leilão o valor do lance vencedor;

b) Leilão de Segundo Preço ou Leilão Vickrey³²: vence o agente que fizer o maior lance, mas o valor a ser pago corresponde ao valor do segundo maior lance.

Os leilões, ainda, podem ser classificados com relação aos preços de fechamento:

▪ Leilão de Preço de Fechamento Uniforme: todos os participantes que vencem o leilão comercializam os bens pelo mesmo preço. Podendo ter preço uniforme de fechamento de primeiro preço, ou seja, os vencedores pagam o melhor lance; ou de segundo preço, no qual, os vencedores pagam o segundo maior (menor) preço.

▪ Leilão de Preço de Fechamento Discriminatório: cada jogador vencedor paga o preço do seu lançamento.

Diante disso, classifica-se os leilões de comercialização de energia elétrica no Brasil como sendo:

(i) um leilão de primeiro preço envelope fechado, no qual, vence aquele participante que oferecer o menor preço pelos contratos de energia;

(ii) um leilão de preços discriminatórios, em que cada vencedor recebe o preço do seu lançamento.

A fim de gerar um campo de ação mais seguro para as distribuidoras, dadas as atitudes dos proponentes vendedores, serão apresentados alguns pressupostos básicos que norteiam e influenciam a sistemática de cada modelo de leilão. Pela não aplicabilidade de alguns desses pressupostos tem-se a alteração na estrutura de cada procedimento, o que os aproximam ainda mais dos mecanismos descritos da realidade.

Os pressupostos básicos consideram que os valores de cada jogador são privados e seguem uma distribuição de probabilidade independente e identicamente distribuída, podendo ser uniforme ou exponencial, de acordo com Krishna (2002).

³² Denominado Leilão Vickrey pelos economistas, por ter sido, primeiramente definido por William Vickrey, em 1961 (Vickrey, 1961 e 1962).

Com isso, em um modelo simétrico, tem-se: um objeto simples que será leiloado; N compradores potenciais; cada jogador atribui um valor máximo x_i ao objeto; os valores x_i seguem uma função de distribuição F , independente e identicamente distribuída, no intervalo $[0, W]$; e cada jogador possui como estratégia de lançamento $\beta_i \in [0, W]$ (em que W corresponde à restrição orçamentária).

Diante de um jogo simétrico, destaca-se o Princípio do Rendimento Equivalente (PRE), que desempenha um papel fundamental na Teoria dos Leilões, pois diversas formas de leilões levam ao mesmo rendimento esperado para os compradores. Com isso, segundo Klemperer (2004), supondo que os N jogadores potenciais, com risco neutro, têm um valor independente conhecido privadamente que segue uma distribuição comum $F(x)$ que é estritamente crescente e dentro do intervalo $[\underline{x}, \bar{x}]$. Então algum mecanismo de leilão apresentará:

- (i) o objeto sempre pertencendo ao comprador com maior valor esperado;
- (ii) um comprador com o menor valor, terá um excedente esperado zero, o que gera o mesmo rendimento esperado, para os compradores.

Pelo Princípio do Rendimento Equivalente (PRE), como afirma Krishna (2002), os tipos de leilões padrões simétricos induzem ao mesmo rendimento esperado, desde que algumas condições são respeitadas, como:

- Independência: valores dos diferentes jogadores são independentemente distribuídos;
- Neutralidade ao risco: todos os lançadores buscam maximizar seus lucros esperados;
- Sem restrição orçamentária: todos os agentes têm capacidade de pagar mais do que seus respectivos valores; e
- Simetria: os valores dos jogadores são distribuídos de acordo com a mesma função de distribuição F .

Seguindo esse panorama, Krishna (2002) mostra que, no leilão de primeiro preço envelope fechado, o lance do jogador é b_i e o valor atribuído ao objeto é x_i . Sendo assim, o lucro π_i será

$$\begin{cases} x_i - b_i, & \text{se } b_i > \max_{j \neq i} b_j \\ 0, & \text{se } b_i < \max_{j \neq i} b_j \end{cases} \quad (3)$$

Caso o lançador proponha uma quantia igual ao seu valor, seu lucro será igual a zero, ao contrário do leilão de segundo preço, no qual o jogador lançando seu valor obtém um lucro referente à diferença entre o seu valor e o segundo maior valor proposto no leilão. No leilão de primeiro preço, vence o jogador que lançar um valor b acima da estratégia de lançamento de qualquer um dos outros lançadores, ou seja, $\beta(Y_1) < b$. Sendo a estratégia de lançamento do vencedor $\beta^1(x)$, segundo Krishna (2002), igual a

$$\beta^1(x) = \frac{1}{G(x)} \int_0^x y \cdot g(y) \cdot dy = E[Y_1/Y_1 < x] \quad (4)$$

sendo: $G(x) = F(x)^{N-1}$, em que,

N = número de jogadores;

$F(x)$ = função de distribuição de um determinado jogador;

$G(x)$ = função de distribuição dos demais jogadores;

$g(y)$ = função de densidade, intervalo de 0 a x ;

$E[Y_1/Y_1 < x]$ = valor esperado para o segundo maior valor, ou seja, o maior valor dos $N-1$ jogadores, dado que x é o maior valor.

O leiloeiro pode intervir no procedimento de leilão através do estabelecimento de um preço reserva ou pela imposição de taxas de entradas, ou seja, é estabelecida uma taxa para a participação que exclui do leilão os compradores que atribuem ao objeto um valor muito baixo (que não é suficiente para superar o preço reserva).

Uma discussão importante, em torno da eficiência do processo e do rendimento a ser obtido, surge ao considerar o preço reserva, pois ao determinar esse preço, o vendedor está garantindo um rendimento maior para si, podendo até permanecer com o objeto caso não obtenha lances satisfatórios ao preço reserva, porém isso resultará em uma ineficiência no procedimento do leilão. Nesse ponto, surge o problema da falta de credibilidade adquirida pelo vendedor, caso assuma o compromisso de vender, e não se estabelecendo um preço reserva, não vende o objeto por um preço muito baixo.

Como apontam Riley e Samuelson (1981), o preço reserva assim como a cobrança de taxa para a participação nos leilões desencorajam os lançadores com lances de baixo valor.

A seção seguinte apresenta as implicações do relaxamento de algumas pressuposições do Princípio do Rendimento Equivalente para os participantes do jogo.

2.1. Relaxamento de Algumas Pressuposições do Princípio de Rendimento Equivalente

A primeira questão a ser analisada no relaxamento do Princípio do Rendimento Equivalente são as conseqüências da aversão ao risco, isto é, os compradores deixam de ser neutros ao risco. Quando jogadores são neutros ao risco, eles buscam maximizar seus lucros esperados e essa função é linear. Ao considerar a aversão ao risco, além de desejarem maximizar o lucro esperado, ganha importância a maximização de sua utilidade esperada. Como expõe Varian (2006), a utilidade esperada ou função de utilidade de Neumann-Morgenstern, apresenta-se como uma combinação não-linear e côncava.

Riley e Samuelson (1981) analisaram as implicações de se adotar diferentes regras em alguns formatos de leilão. Concluíram que, considerando lançadores avessos ao risco, o leilão de primeiro preço domina o leilão de segundo preço, uma vez que no leilão de segundo preço os compradores continuam lançando seus preços reservas, e no leilão de primeiro preço, os participantes do jogo fazem lançamentos uniformemente maiores. O que leva os vendedores preferirem o formato de leilão de primeiro preço, por gerarem lucro esperados maiores.

A pressuposição do Princípio do Rendimento Equivalente também é alterada com a imposição de restrição orçamentária. Os participantes de um leilão limitam seus lances a valores que estejam incluídos em sua restrição orçamentária, portanto, o valor atribuído a um objeto no leilão x_i deve pertencer a um intervalo $[0, w_i]$. No leilão de primeiro preço, a estratégia será $\beta^1(x, w) = \min \{\beta(x), w\}$. Como $\beta(x) < x$ e a função de distribuição de probabilidade no leilão de primeiro preço domina estocasticamente a função de distribuição de probabilidade no leilão de segundo preço, conclui-se que o rendimento esperado no leilão de primeiro preço é maior do que o rendimento esperado no outro leilão.

Outro relaxamento das pressuposições ocorre quando os lançadores agem de forma assimétrica. Dessa forma, as distribuições de valores dos compradores se tornam distintas. Segundo Klemperer (2004), no leilão de primeiro preço, os

jogadores que seguem distribuições mais fracas lançam mais agressivamente do que os jogadores que seguem distribuições mais fortes. O problema da assimetria também afeta a eficiência nos diversos tipos de leilões. Pois, sendo valores privados assimetricamente distribuídos, o leilão de primeiro preço não consegue alocar eficientemente os objetos, com probabilidade positiva; porque o jogador i , que tem uma função de distribuição mais forte, adotando uma estratégia inferior a do jogador j , perderá o leilão. Enquanto que no leilão de segundo preço isso sempre ocorre, pois com estratégia fracamente dominante, vence quem lança o maior valor, mas o pagamento refere-se ao segundo maior valor, assim um jogador j pode lançar um valor acima daquele que ele atribui ao objeto, visando vencer o leilão.

Tendo que as informações são independentemente distribuídas existe a possibilidade de os sinais dos lançadores serem correlacionados. Com sinais positivos e fortemente correlacionados pode-se denominá-los de afiliados. A afiliação afetará alguns dos tipos de leilões, tornando $E[R^{II}] \geq E[R^I]$ (em que: $E[R^{II}]$ é o rendimento esperado no leilão de segundo preço envelope fechado; e $E[R^I]$ é o rendimento esperado no leilão de primeiro preço envelope fechado).

Com isso, quando se tem informação pública, no leilão de primeiro preço envelope fechado a estratégia de lançamento será uma função dessas informações públicas (S) e do sinal do lançador (x), ambos afiliados, que será $\beta(S, x_i)$. Sendo assim, o rendimento esperado ao se trabalhar com informações públicas no leilão de primeiro preço é superior ao rendimento esperado quando não se tem informação pública.

CAPÍTULO 3

ESTRATÉGIA DE CONTRATAÇÃO DAS DISTRIBUIDORAS VIA ALGORITMOS GENÉTICOS

1. INTRODUÇÃO

A determinação das decisões ótimas de contratação por parte das distribuidoras de energia elétrica pode ser classificada como um problema de otimização combinatória não linear inteira, na qual o objetivo é o atendimento do mercado atrelado à minimização de investimentos. O problema apresenta fatores complicadores como: (i) o preço da energia elétrica (R\$/MWh), por não se conhecer o preço final da energia em cada leilão; (ii) o percentual do mercado (MW) a ser contratado pela distribuidora, que é função de uma previsão de crescimento do mercado; e (iii) a decisão de participar ou não dos leilões de energia, visto que estratégias equivocadas podem ocasionar grandes prejuízos. Diante das dificuldades apresentadas, esse estudo faz uso de uma técnica de inteligência artificial denominada de Algoritmos Genéticos (SOARES, 1997), visando à determinação das decisões ótimas de contratação pelas distribuidoras de energia para um horizonte de dez anos à frente.

A preferência na utilização de algoritmos genéticos, ao invés dos algoritmos clássicos, deve-se ao fato de que os algoritmos genéticos procuram as soluções

ótimas em diversos pontos de busca simultaneamente; além de, não se limitarem à existência de derivadas da função objetivo. Os Algoritmos Genéticos são métodos probabilísticos, que necessitam apenas dos valores da função objetivo para buscar as melhores soluções para o problema proposto.

2. ALGORITMOS GENÉTICOS

2.1. Breve Histórico sobre Algoritmos Genéticos

Em meados do século XIX, Charles Darwin (1809-1882) em uma expedição às ilhas Galápagos formulou seu livro “*On the Origin of Species by Means of Natural Selection*”. Em sua teoria, Darwin concluiu que: “Na evolução das espécies, só os indivíduos mais adaptados ao meio ambiente sobrevivem e a estes são dadas a oportunidade de se reproduzirem e deixar suas características em seus descendentes”.

Baseados nas conclusões de Darwin, muitos biólogos, nos anos cinquenta e sessenta, começaram a estudar e desenvolver algoritmos computacionais com base na teoria da evolução das espécies, sendo estes algoritmos denominados Algoritmos Genéticos. Entretanto, pode-se dizer que o precursor dos algoritmos genéticos foi Jonh Holland, Professor da Universidade de Michigan, na década de setenta com a publicação do livro "*Adaptation in Natural and Artificial Systems (1975)*". Jonh Holland, tendo em vista a teoria da seleção natural, implantou no campo da simulação computacional a teoria de Darwin.

Assim, na década de oitenta, fez-se a primeira aplicação industrial, com sucesso, deste algoritmo. A partir daí, os algoritmos genéticos vem sendo utilizados nos mais diversos campos da ciência (Engenharia, Economia, Biologia, Matemática etc). Ainda hoje, grande parte da teoria existente sobre algoritmos genéticos aplica-se ao modelo introduzido por Holland.

2.2 Os Algoritmos Genéticos

São algoritmos computacionais, que de acordo com Linden (2006) e Fortunato (2003), podem ser definidos como uma técnica de busca baseada em uma metáfora do processo biológico de evolução natural, sendo classificados como técnicas heurísticas de otimização global. A palavra heurística é derivada do grego “*heuriskein*”, que significa descobrir ou encontrar. Entretanto, o significado da

palavra em otimização, vai um pouco além de sua raiz etimológica. Heurística refere-se a um método de busca de soluções em que não existe qualquer garantia de sucesso. Assim, pode-se definir uma heurística como sendo uma técnica de solução com baixo esforço computacional que é capaz de garantir a viabilidade ou a otimalidade das soluções encontradas ou até mesmo ambas, especialmente nas ocasiões em que se parte de soluções viáveis próximas do ponto ótimo.

Nos algoritmos genéticos, as populações de indivíduos, isto é, as soluções, são criadas e submetidas aos operadores genéticos de seleção, cruzamento (recombinação) e mutação, conforme Reeves e Rowe (2003). Estes operadores fazem uso da qualidade (isto é, grau de otimalidade da solução) de cada indivíduo através de uma avaliação e a partir daí, geram um processo de evolução natural destes indivíduos. Os algoritmos genéticos tem o mesmo comportamento da teoria de Darwin, em que se tem: (i) a competição entre indivíduos; (ii) a sobrevivência entre os mais aptos; e (iii) a possibilidade dos mais aptos passarem suas características aos seus descendentes. Isto é, através do mecanismo de seleção natural e da genética, no qual se combina a sobrevivência entre os indivíduos classificados como os mais aptos, é feita uma recombinação genética de modo a formar uma estrutura de busca eficiente, VENKATARAMAN (2002).

Como já mencionado anteriormente, os algoritmos genéticos tem sido utilizados em diversas áreas da ciência com sucesso, e este fato pode ser justificado através das seguintes características inerentes ao algoritmo:

- busca paralela: um conjunto de soluções é avaliado simultaneamente;
- facilidade em se trabalhar com funções discretas, contínuas, reais, booleanas, sendo possível misturar as representações sem prejuízo a eficiência do método;
- não é afetada por funções descontínuas ou sem derivadas, os algoritmos genéticos não fazem uso de derivadas no seu processo de otimização;
- os algoritmos genéticos possuem componentes aleatórios, porém como o processo de otimização é baseado na informação da população corrente para a determinação do próximo estado de busca, não podem ser considerados totalmente aleatórios;
- devido à forma como é realizada a busca nos algoritmos genéticos, sua utilização para problemas de grandes dimensões (espaços de busca intratáveis) é interessante.

2.3. Algoritmo Genético Proposto

Antes de se descrever o algoritmo genético proposto, optou-se em descrever, de forma breve, o funcionamento do algoritmo e a partir daí descrever em detalhes a aplicação desta técnica para a resolução do problema referente a determinação das decisões ótimas de contratação por parte das distribuidoras de energia elétrica. Desta forma, o algoritmo genético pode ser resumido nos seguintes passos:

2.3.1. Inicialização da População

O algoritmo genético proposto é iniciado por uma população (conjunto de soluções) gerada aleatoriamente, respeitando alguns parâmetros como: os limites máximos e mínimos das variáveis preço e mercado; e a discretização das variáveis de decisão e tempo de vigência dos contratos. O tamanho da população é fixo e deve ser tal que cubra o espaço de busca de maneira uniforme para não prejudicar o desempenho do algoritmo.

Cada indivíduo (solução potencial) é representado por três cromossomos:

- (i) Cromossomo A: contendo as informações de participação ou não por parte da distribuidora dos leilões A-1, A-3 e A-5 para o período de estudo. Para tanto, utilizou-se uma codificação binária para este cromossomo;
- (ii) Cromossomo B: contendo as informações de preço da energia para cada um dos leilões (A-1, A-3 e A-5) durante o período de estudo. Este cromossomo baseia-se na análise dos preços médios obtidos em leilões já realizados para a geração de preços no período de estudo. Para tanto, utilizou-se uma codificação decimal para este cromossomo;
- (iii) Cromossomo C: contendo as informações do mercado a ser contratado pela distribuidora em cada um dos leilões, quando este decidir participar, considerando o horizonte de estudo. Para tanto, utilizou-se uma codificação decimal para este cromossomo.

O cromossomo tipo A contém as informações da participação ou não da distribuidora nos leilões do tipo A-1, A-3 e/ou A-5, ou seja, este cromossomo contém

as variáveis de decisão por parte da distribuidora. A Tabela 3.1 ilustra o modelo adotado para a representação do cromossomo tipo A, no qual o primeiro valor unitário de cada linha representa a decisão de participação da distribuidora em cada um dos tipos de leilões e o valor nulo a não participação. Diante da duração dos contratos, os quais podem variar de cinco até trinta anos, dependendo do tipo de leilão, pode-se dizer que pela modelagem proposta, o cromossomo tipo A possui vinte e quatro genes dominantes (correspondente ao primeiro elemento não nulo de cada linha). Isto porque, sendo positiva a decisão de participação, em um determinado leilão, esta fica em vigência por todo o período de contrato. Como pode ser observado na Tabela 3.1 (linha onze), se em 2007 (ano inicial de análise) a distribuidora de energia resolver participar de um leilão do tipo A-3, a mesma terá o início deste contrato em 2010 permanecendo, obrigatoriamente, até o final do horizonte de estudo, no caso até 2017 (ano final de análise), já que os leilões do tipo A-3 têm vigência de quinze a trinta anos. Destaca-se ainda, que na modelagem proposta, assim como vem ocorrendo na maioria dos anos, a realização anual de um único leilão de energia existente (A-1) e um leilão de energia nova (A-3 e/ou A-5).

Tabela 3.1 - Cromossomo do Tipo A: Decisões de Participação (0-1)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
2007	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	A-1
2008	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2009	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
2010	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	
2011	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	
2012	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
2013	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
2014	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
2016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
2007	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	A-3
2008	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	
2009	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	
2010	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
2011	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
2012	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
2007	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	A-5
2008	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
2009	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
2010	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	

Fonte: Elaboração própria.

O cromossomo tipo B contém as informações do preço da energia (R\$/MWh) nos leilões do tipo A-1, A-3 e A-5. A inicialização dos preços é feita de forma aleatória, porém dentro das variações máximas e mínimas obtidas através da análise de todos os leilões de energia já realizados até o ano de 2008 (ver Figura 4.5), em que se considera uma variação média de 4,45% nos preços dos leilões A-1, de 13,97% nos preços praticados no A-3 e de 15,85% nos preços do leilão A-5. Optou-se em fazer a análise desta forma devido à falta de dados (série de preços) suficientes para empregar com o mínimo de confiança os modelos tradicionais de previsão. Isso pode ser justificado pelo fato dos procedimentos de leilões de energia terem sido implantados a pouco tempo.

Assim, como no cromossomo do tipo A, deve-se atentar para a duração dos contratos, pois o preço da energia pago por uma distribuidora em um determinado leilão do tipo A-1 será o mesmo, corrigido apenas pelo IPCA (Índice de Preço ao Consumidor Amplo), ao longo de cinco a quinze anos (intervalo de duração do contrato de leilões do tipo A-1). A Tabela 3.2 mostra o modelo adotado para o cromossomo do tipo B para um período de dez anos.

Tabela 3.2 – Cromossomo do Tipo B: Preço da Energia nos Leilões

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
2007	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	A-1
2008	0	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	
2009	0	0	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	
2010	0	0	0	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	
2011	0	0	0	0	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	
2012	0	0	0	0	0	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	
2013	0	0	0	0	0	0	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	
2014	0	0	0	0	0	0	0	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	RS/MWh	RS/MWh	
2016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	RS/MWh	
2007	0	0	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	A-3
2008	0	0	0	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	
2009	0	0	0	0	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	
2010	0	0	0	0	0	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	
2011	0	0	0	0	0	0	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	
2012	0	0	0	0	0	0	0	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	RS/MWh	RS/MWh	
2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	RS/MWh	
2007	0	0	0	0	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	A-5
2008	0	0	0	0	0	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	
2009	0	0	0	0	0	0	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	
2010	0	0	0	0	0	0	0	RS/MWh	RS/MWh	RS/MWh	
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	RS/MWh	RS/MWh	
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	RS/MWh	

Fonte: Elaboração própria.

O cromossomo tipo C contém as informações do número de lotes (MW médio)³³ a ser contratada pela distribuidora de energia ao longo do período de

³³ A unidade de MW médio corresponde à razão entre o valor total de MWh consumido em 1 ano e a quantidade de horas do ano, DIAS (2007).

estudo, dada a previsão de crescimento do mercado. Devido os eventuais erros de previsão de mercado por parte das distribuidoras é permitido pela ANEEL que o erro máximo de previsão seja de 3% acima do mercado realmente existente, sem que as mesmas sejam penalizadas, conforme Decreto 5.163/2004.

Em relação à modelagem deste cromossomo, dois pontos merecem destaque:

(i) no ano inicial de estudo considera-se a distribuidora 100% contratada através de uma carteira de contratos já existentes; e (ii) para o nível de crescimento de mercado foi utilizado o valor médio projetado para o crescimento do consumo de energia, de acordo com EPE (2005).

A Tabela 3.3 ilustra o modelo adotado para o cromossomo do tipo C, em que a soma de cada uma das colunas deve corresponder a contratação de 100% do mercado inerente a distribuidora em análise.

Tabela 3.3 - Cromossomo do Tipo C: Mercado Contratado nos Leilões.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
2007	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	A-1
2008	0	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	
2009	0	0	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	
2010	0	0	0	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	
2011	0	0	0	0	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	
2012	0	0	0	0	0	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	
2013	0	0	0	0	0	0	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	
2014	0	0	0	0	0	0	0	MW médio	MW médio	MW médio	
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	MW médio	MW médio	
2016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	MW médio	
2007	0	0	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	A-3
2008	0	0	0	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	
2009	0	0	0	0	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	
2010	0	0	0	0	0	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	
2011	0	0	0	0	0	0	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	
2012	0	0	0	0	0	0	0	MW médio	MW médio	MW médio	
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	MW médio	MW médio	
2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	MW médio	
2007	0	0	0	0	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	A-5
2008	0	0	0	0	0	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	
2009	0	0	0	0	0	0	MW médio	MW médio	MW médio	MW médio	
2010	0	0	0	0	0	0	0	MW médio	MW médio	MW médio	
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	MW médio	MW médio	
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	MW médio	

Fonte: Elaboração própria.

2.3.2. Definição dos Parâmetros Genéticos

Alguns parâmetros influenciam diretamente no desempenho dos algoritmos genéticos, sendo motivo de estudo e análises conforme Linden (2006) . São eles: (i) tamanho da população; (ii) taxa de cruzamento; (iii) taxa de mutação; e (iv) convergência. A seguir serão descritas as principais características de cada parâmetro para uma melhor compreensão do algoritmo genético proposto.

2.3.2.1. Tamanho da População

O tamanho da população, que corresponde ao número de indivíduos (soluções), é um valor fixo que influi diretamente no desempenho e na eficiência dos algoritmos genéticos. Para populações muito pequenas, o algoritmo não abrange um espaço de busca satisfatório para a convergência e em consequência disso pode resultar em convergência prematura para um ótimo local. Para populações muito grandes, o espaço de busca fica muito bem representado no domínio do problema, mas em compensação o algoritmo consome um elevado tempo computacional. Portanto, o ajuste deste parâmetro deve ser realizado por um operador com bastante experiência ou simplesmente através de testes, para que o algoritmo tenha um funcionamento adequado.

2.3.2.2. Taxa de Cruzamento

A taxa de cruzamento é um valor percentual fixo que indica a percentagem de indivíduos da população, ou seja, de soluções, que serão avaliados e selecionados para a reprodução. Uma taxa de cruzamento muito baixa gera pouca diversidade da população a cada geração, prejudicando o processo de busca. Para uma taxa de cruzamento alta, a população poderá ter uma perda no seu material genético, já que quase toda a população é substituída pelos seus descendentes. Com isso, o ajuste deste parâmetro deve ser cuidadoso.

2.3.2.3. Taxa de Mutação

A taxa de mutação é um valor percentual fixo que indica quantos indivíduos da população irão sofrer mutação. Com uma taxa de mutação muito baixa, o algoritmo pode ficar estagnado a um determinado valor não ótimo, e ainda, pode impedir que regiões do espaço de busca não sejam visitadas. Uma taxa de mutação alta faz com que o algoritmo fique muito aleatório, de modo que uma boa solução pode ser perdida durante o processo.

2.3.2.4. Convergência

Basicamente, existem três tipos de critérios de convergência para o algoritmo genético: (a) número máximo de gerações, neste critério, independentemente se o algoritmo chegou ou não em uma solução satisfatória, este vai evoluir até um determinado número fixo de gerações; (b) diferença entre a média da população e a melhor solução da mesma, se a diferença entre eles for menor que uma determinada tolerância, cujo valor deverá ser próximo de zero, o algoritmo convergiu, chegando assim em uma solução satisfatória; (c) tempo fixo de parada, independente da evolução do algoritmo, este converge quando o tempo corrente se iguala ao tempo prefixado.

2.3.3. Função de Aptidão

A Função de Aptidão tem como objetivo a avaliação do potencial de cada indivíduo em relação à meta proposta. Sendo assim, o Valor de Aptidão (VA) de cada indivíduo (k) é baseado no custo total de contratação de energia pela distribuidora ao longo dos dez anos em estudo. Este custo é dado por:

$$VA_k(R\$) = \sum_{i=1}^{NL} \sum_{j=1}^{NC} (A(0-1)_{ij} \times B(R\$/MWh)_{ij} \times C(MW\text{médio})_{ij}) \quad (5)$$

em que: NL = corresponde ao número de linhas das matrizes que representam os cromossomos; NC = é o número de colunas das matrizes que representam os cromossomos; e $MW\text{ médio} = \frac{MWh}{n^\circ \text{ horas anual}} = \frac{MWh}{8760}$.

Como o objetivo é a determinação das decisões ótimas de contratação de modo a minimizar o custo total de contratação pela distribuidora e garantir o atendimento ao mercado, a solução final corresponderá ao indivíduo que apresentar o

menor valor para a função de aptidão. Destaca-se o fato de que o algoritmo genético é desenvolvido originalmente para a obtenção de máximos globais, assim, para problemas de minimização, como o problema aqui em estudo, o valor de aptidão deve ser invertido. Ou seja, o valor deve ser dado pela expressão:

$$VA_k(R\$) = \frac{1}{\sum_{i=1}^{NL} \sum_{j=1}^{NC} (A(0-1)_{ij} \times B(R\$/MWh)_{ij} \times C(MW\text{médio})_{ij})} \quad (6)$$

Assim, quanto menor o custo de contratação da distribuidora (denominador da equação acima) maior será o valor da aptidão.

2.3.4. Operadores Genéticos

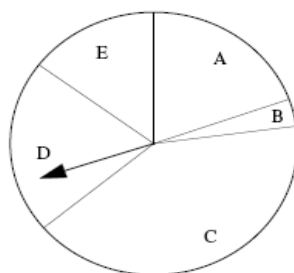
Os operadores genéticos são responsáveis pelo processo de otimização do qual compreende a seleção e a diversificação da espécie durante várias gerações. Os operadores fazem com que indivíduos mais aptos (no caso, com menores custos de contratação) tenham uma maior probabilidade de cruzamento e desta forma conservem suas características de adaptação para seus descendentes, em consequência, indivíduos com baixa adaptabilidade (no caso, maiores custos de contratação) se perdem durante as gerações. Esta diversificação faz com que os indivíduos se adaptem melhor ao seu meio e conseqüentemente cheguem a uma população com valores de aptidão na maioria das vezes ótimos ou próximos a estes. Os operadores genéticos são divididos em: (i) seleção; (ii) cruzamento; e (iii) mutação.

2.3.4.1. Operador de Seleção

O operador de seleção tem como objetivo selecionar os indivíduos mais adaptados ao seu meio ambiente para sofrer a ação dos operadores de cruzamento e mutação, e conseqüentemente gerar uma população mais adaptada ao seu nicho ecológico. Deste modo, as futuras gerações terão uma menor probabilidade de serem extintas. Na literatura, existem diversos tipos de seleção: (a) seleção por torneio; (b) seleção por amostragem estocástica uniforme; (c) seleção por ranking. Entretanto, optou-se pela seleção por amostragem estocástica.

A seleção por amostragem estocástica assemelha-se a uma roleta de cassino. O processo é feito avaliando-se cada indivíduo através da adaptabilidade (valor de aptidão ou “*Fitness*”). Depois da avaliação de cada indivíduo calculam-se os valores percentuais de aptidão e com estes valores monta-se uma roleta de área proporcional. Roda-se a roleta com o mesmo número de vezes que o tamanho da população, com isso os indivíduos que possuem maior adaptabilidade tem uma maior chance de serem selecionados para reprodução. A Figura 3.1 exemplifica o método. Quando a roleta gira, indivíduos com maior valor de aptidão tem maiores chances de serem selecionados, pois “ocupam” uma área maior na superfície da roleta. No caso específico da Figura 3.1, o indivíduo D foi o selecionado.

Indivíduo	Fitness	Participação (%)
A	84	19
B	12	3
C	180	40
D	110	25
E	59	13



Fonte: Elaboração Própria.

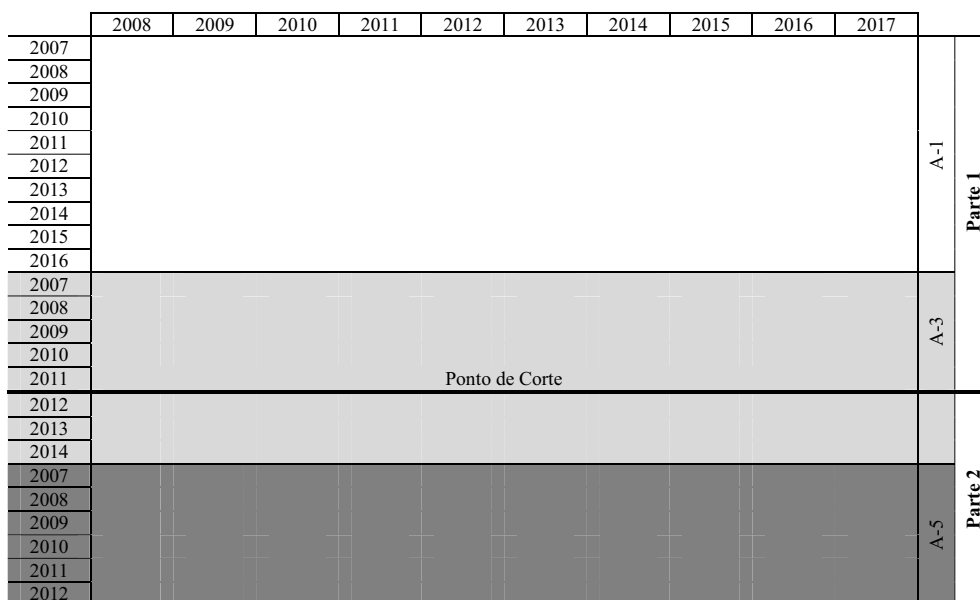
Figura 3.1 - Seleção pelo Método da Roleta.

2.3.4.2. Operador de Cruzamento

O operador de cruzamento tem como objetivo a realização da troca do material genético dos progenitores escolhidos pelo operador de seleção. Desta forma, seus descendentes herdarão parte das características de um progenitor e parte do outro. Com isso, as características dos progenitores mais adaptados serão conservadas de geração em geração pelos seus descendentes, fazendo com que estes se adaptem melhor ao meio em que vivem. Este operador é realizado em um número fixo de indivíduos regidos pela taxa de cruzamento. Na literatura, existem diversos tipos de cruzamento: (a) cruzamento em um ponto de corte; (b) cruzamento em dois pontos de corte; (c) cruzamento em “*n*” pontos de corte; (d) cruzamento uniforme, entre outros. Entretanto, optou-se pelo cruzamento em um ponto de corte.

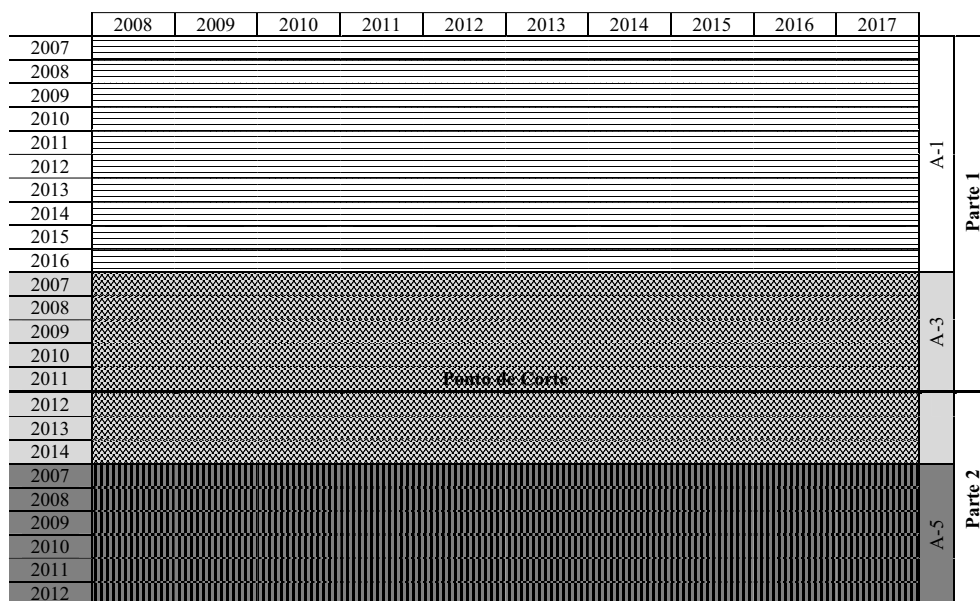
Neste tipo de cruzamento, os cromossomos dos progenitores são divididos em duas partes através de um único ponto de corte, sendo este escolhido de forma aleatória e válido para todos os cromossomos.

A Figura 3.2 e a Figura 3.3 apresentam o ponto de corte e, com isso, as divisões genéticas (parte 1 e 2) geradas para dois progenitores.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 3.2 - Progenitor 1: Ponto de Corte em destaque.

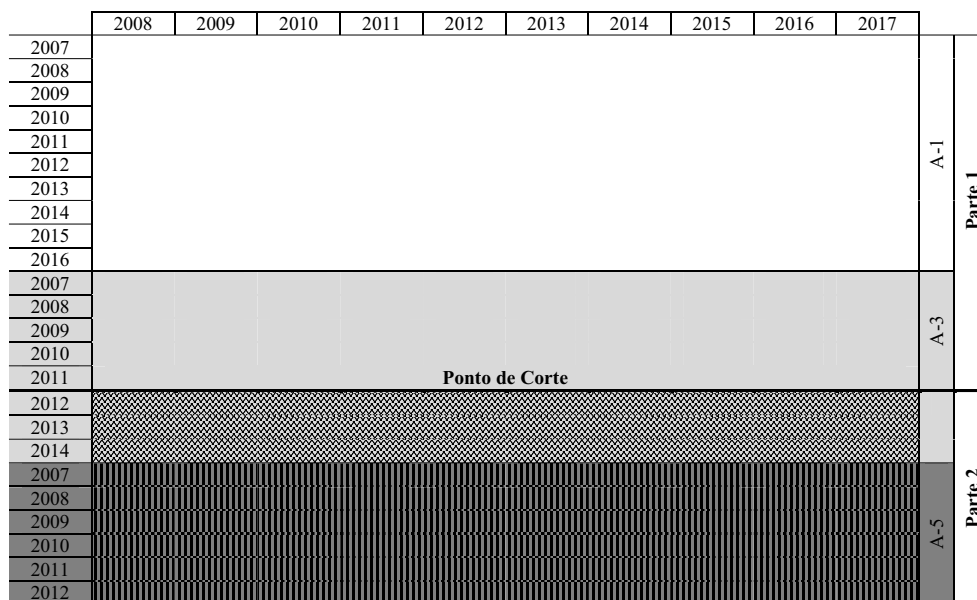


Fonte: Elaboração Própria.

Figura 3.3 - Progenitor 2: Ponto de Corte em destaque.

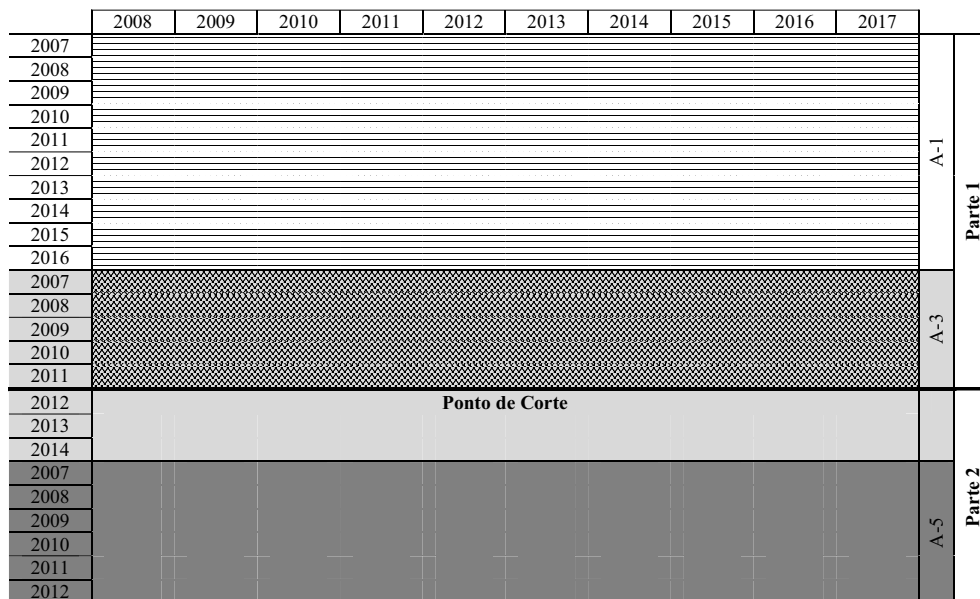
Determinado o ponto de corte é feita a troca de material genético entre os progenitores. É importante frisar que o ponto de corte é escolhido de maneira aleatória para cada um dos cruzamentos realizados durante o processo de otimização, com o objetivo de diversificar os novos indivíduos gerados. Desta forma, os descendentes serão formados por “pedaços” alternados dos cromossomos de seus progenitores, ou seja, um descendente é formado pela parte 1 do progenitor 1 mais a parte 2 do progenitor 2 e o outro descendente é formado pela parte 1 do progenitor 2 mais a parte 2 do progenitor 1. A Figura 3.4 e a Figura 3.5 ilustram os novos descendentes gerados pelo cruzamento.

Em relação aos cromossomos do tipo C, de acordo com o procedimento adotado para o cruzamento entre os progenitores, uma situação não desejada pode ocorrer: o novo indivíduo pode não garantir a contratação anual da distribuidora, isto é, atendimento de 100% do seu mercado. Para contornar tal situação, utiliza-se a técnica de pequenos ajustes Marcato *et al.* (2006). Esta técnica tem por objetivo a diminuição (no caso de excesso) ou o aumento (no caso de falta) da contratação anual da distribuidora, de modo a contornar esta situação de subcontratação (<100%) ou sobre contratação (>100%).



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 3.4 - Cromossomo do Descendente 1.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 3.5 - Cromossomo do Descendente 2.

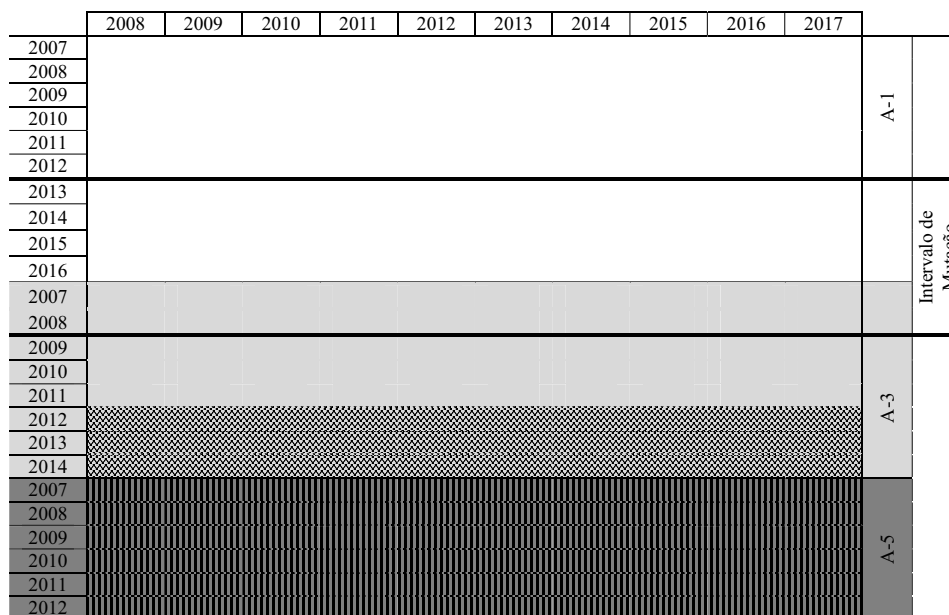
Em relação aos cromossomos referentes aos preços da energia nos leilões, cromossomo do tipo B, adotou-se procedimento análogo ao do cromossomo tipo A, ou seja, a troca de material genético a partir do ponto de corte.

2.3.4.3. Operador de Mutação

O operador de mutação tem como objetivo inserir novas características aos descendentes e até mesmo de restaurar as características perdidas de uma determinada geração. O processo faz com que alguns descendentes de cada geração, regidos por um percentual fixo denominado taxa de mutação, sofram uma troca no valor de um de seus genes. A posição do gene é escolhida de forma aleatória. Dentre os vários tipos de mutação utilizou-se à mutação baseada na troca em dois pontos de corte, conforme Linden (2006).

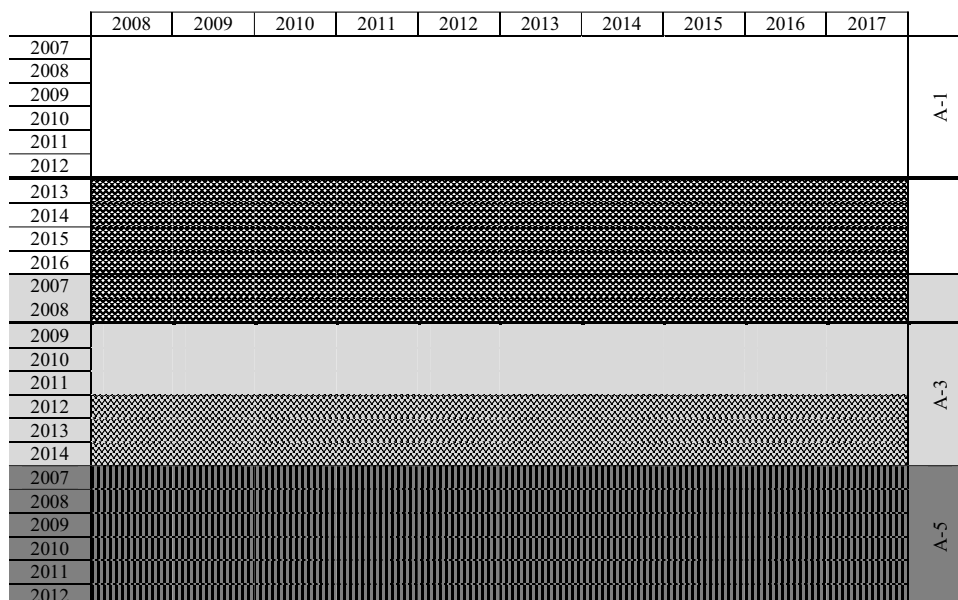
Para este tipo de mutação, optou-se em escolher aleatoriamente dois pontos de corte, como pode ser visto em destaque na Figura 3.6, e entre estes pontos sorteiam-se novos valores, os quais formaram o indivíduo final, Figura 3.7. Isto permite que novos pontos da região da solução possam ser visitados. Porém, destaca-

se ainda, a possibilidade da utilização do método de pequenos ajustes para eventuais sub ou sobre contratações que possam a vir ocorrer.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 3.6 - Determinação do Intervalo de Mutação.



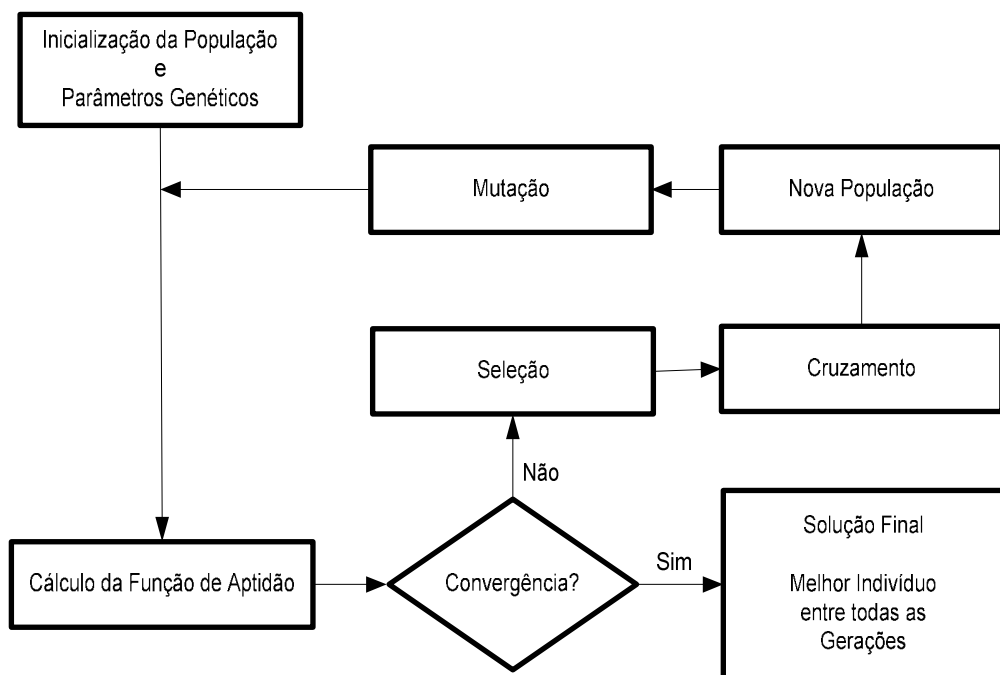
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 3.7 - Indivíduo Final.

2.4. Elitismo

O elitismo foi introduzido por Jong e Spears (1975), para contribuir em uma convergência satisfatória do algoritmo. Este método faz com que a melhor solução de uma determinada geração não seja perdida por uma possível não seleção à reprodução. Assim, a cada geração, o melhor indivíduo (melhor solução) sendo escolhido ou não para a reprodução, passa a fazer parte automaticamente da próxima geração até que se encontre outro indivíduo melhor. Este processo foi adotado no algoritmo genético proposto nesta dissertação.

A Figura 3.8 apresenta o fluxograma do algoritmo genético proposto.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 3.8 - Estrutura do Algoritmo Genético Proposto.

3. FONTE DOS DADOS

A partir dos dados de leilões obtidos na CCEE (2008) foi possível, considerar dois períodos de análises: com o Mega-leilão, que abrange os leilões realizados de 2004 a 2008; e sem o Mega-leilão, o qual se refere aos anos de 2005 a 2008. A partir daí, levantou-se o volume de lotes (MW médios) contratos em cada leilão e determinou-se os preços praticados nos leilões de energia existente e de energia nova. Sendo que os valores de preços médios abordados neste trabalho foram deflacionados pelo IPCA de setembro de 2008. Estes dados foram importantes para a simulação dos estudos de caso.

A calibragem dos parâmetros genéticos, inerente à técnica de inteligência artificial utilizada, foi obtida através de simulação exaustiva visando o melhor desempenho do modelo, de acordo com a convergência, o tempo de processamento e a qualidade das soluções. Os parâmetros empregados estão descritos no Capítulo 5, seção 2.3.1.

A simulação dos leilões de energia existente teve como fonte de dados as informações do Quinto Leilão de Energia Existente, com: preço corrente de abertura do leilão de 105,00 R\$/MWh, valor de PLD mínimo de 16,31 R\$/MWh e quantidade total demandada de 204 lotes (CCEE, 2008).

CAPÍTULO 4

RESULTADOS DOS ESTUDOS DE CASOS

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo objetiva apresentar uma análise detalhada dos resultados dos leilões de energia existente e de energia nova realizados no Brasil até o ano de 2008, descrevendo as mudanças de contratações das distribuidoras na abordagem de dois períodos distintos e os preços praticados nos leilões A-1, A-3 e A-5. Também oferece as estratégias ótimas a serem tomadas pelas distribuidoras de energia dado os ambientes e cenários propostos. Por fim, delinea as conclusões obtidas a partir da simulação dos leilões de energia existente.

Para isso foram desenvolvidos seis estudos de caso, sendo dois referentes ao estudo sobre os resultados dos leilões de energia:

- Caso 1: Levantamento das percentagens de contratações das maiores distribuidoras de energia e dos preços médios de contratações nos leilões A-1, A-3 e A-5 até 2008. Com esses dados determinou-se qual era a tendência de contratação destas empresas e o impacto sobre os custos médios.
- Caso 2: Inversão nos volumes de contratações de duas grandes distribuidoras. Visando obter as modificações em seus custos.

Os estudos de casos 3 e 4 apresentam as simulações feitas, via Algoritmos Genéticos (AG), sendo elas:

- Caso 3: Simulou-se diversas situações com o objetivo de obter as estratégias “ótimas” de contratações das distribuidoras, dado um determinado crescimento de mercado e com base nos preços verificados nos leilões de energia já realizados.
- Caso 4: Inclui-se fatores exógenos à simulação, que levam a redução no crescimento da demanda por energia nos anos 2011, 2012 e 2013, a partir daí foi possível estabelecer comparações, quanto ao custo e às estratégias de contratações, com o caso anterior (Caso 3).

Nos Casos 5 e 6 foram feitas simulações dos Leilões de Energia Existente, partindo-se dos dados do Quinto Leilão de Energia Existente, a fim de verificar a relação (ou sua inexistência) entre o número de agentes participantes e os preços estabelecidos em um leilão. No Caso 5, utilizou-se 20 participantes e no Caso 6, 10 participantes vendedores de energia.

2. RESULTADOS DOS LEILÕES DE ENERGIA NO BRASIL

Os lucros de uma empresa distribuidora são diretamente afetados por sua decisão de quando e quanto comprar em cada leilão, uma vez que suas ações tomadas repercutirão por um longo prazo, podendo ser por até 30 anos. Diante disso, aponta-se a dificuldade de maximizar seus lucros (minimizar gastos) e paralelamente atender à quantidade demandada pelo seu mercado consumidor, a fim de não incorrer em penalidades.

As distribuidoras que mais comercializaram energia nos leilões de 2004 a 2008 são descritas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Características das Empresas que mais Contrataram Energia nos Leilões até 2008.

Distribuidoras de energia	Percentagens de contratação em leilões	Localização
ELETROPAULO	9,18%	São Paulo
CEMIG	7,90%	Minas Gerais
COPEL	7,42%	Paraná
CELESC	6,01%	Santa Catarina
LIGHT	5,98%	Rio de Janeiro
COELBA	5,64%	Bahia
CPFL PAULISTA	4,70%	São Paulo
ELEKTRO	4,19%	São Paulo

Fonte: Elaboração Própria a partir dos dados da CCEE.

O comportamento de algumas dessas distribuidoras diferencia-se ao considerar o efeito do mega-leilão (leilão multi-produto realizado em 2004) e sem este efeito (período de 2005 a 2008). Esta situação será abordada na próxima seção.

2.1. Análise das Estratégias Realizadas e dos Preços de Contratações

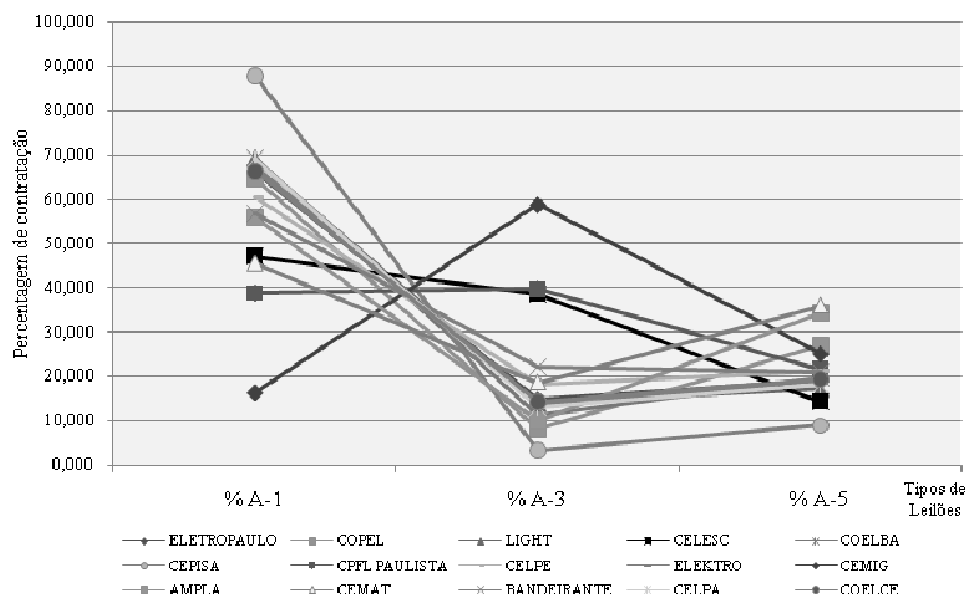
2.1.1. Estratégias de Contratações das Distribuidoras nos Leilões de 2004 a 2008

Considerando o volume de contratação das distribuidoras que mais contrataram energia, no período de 2004 a 2008 (incluindo o Mega-leilão), é possível definir a percentagem de contratação de cada uma delas e com isso definir as suas estratégias de ações, como pode ser visto na Figura 4.1.

A Figura 4.1 mostra a percentagem de contratação em leilões das quinze maiores distribuidoras de energia³⁴, no período de 2004 a 2008. Nota-se que a maioria das distribuidoras comprou energia no momento de contratação A-1, reduzindo seu volume de compra no A-3 e aumentando novamente no A-5. Enquanto que, somente as empresas CELESC, CPFL PAULISTA E CEMIG, agiram de forma diferente. As distribuidoras CEMIG e CPFL PAULISTA compraram mais energia no

³⁴ Estas quinze distribuidoras foram classificadas como maiores devido ao volume de contratação nos leilões de energia existente e nova até o ano de 2008.

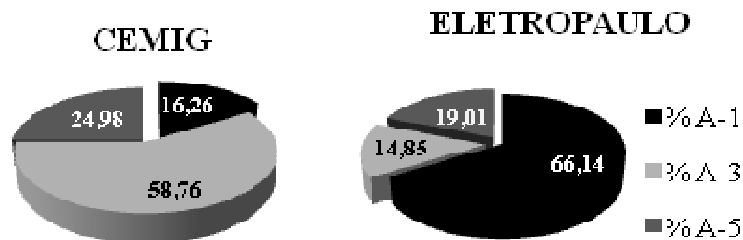
A-3, sendo que a CEMIG foi aquela que mais comprou no A-3, com quase 60% de seus contratos atrelados a esse momento de contratação. A CELESC apesar de ter contratado grande parte de seus lotes no A-1 (47,12%), também contratou bastante no A-3, em torno de 38,66%. As demais distribuidoras, no período de 2004 a 2008, comprometeram mais de 45% de suas contratações em leilões do tipo A-1.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da CCEE.

Figura 4.1 - Percentagem de Contratação das 15 maiores Distribuidoras nos Três Tipos de Leilões de Energia Elétrica (até o ano de 2008).

A Figura 4.2 apresenta uma comparação entre as diferenças de contratações de duas grandes distribuidoras de energia no Brasil até os leilões realizados. Esta figura objetiva demonstrar como diferentes estratégias podem ser adotadas, com patamares de contratações bem distintos. Por exemplo, a ELETROPAULO, a maior distribuidora com relação ao volume de energia comprado em leilões, contratou 66,14% no A-1, e aproximadamente 20% de contratações no A-5. Estratégias de contratação semelhantes foram adotadas pela maioria das empresas. Já CEMIG optou por se contratar mais no A-3 e sua menor quantidade contratada ocorreu no A-1, estratégia contrária à tomada pela maioria das empresas.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da CCEE.

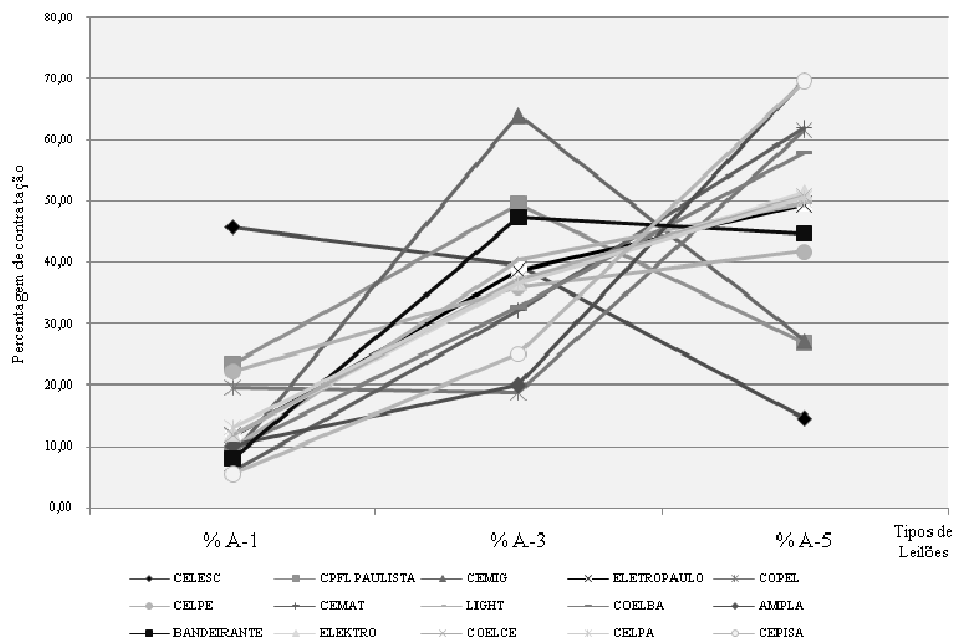
Figura 4.2 - Diferença entre as Quantidades de Lotes de Energia Contratados pela CEMIG e pela ELETROPAULO nos Diversos Momentos de Contratações de 2004 a 2008.

Diante das diversas possibilidades e ações de contratações mostradas na Figura 4.1 e na Figura 4.2, este trabalho objetiva definir quais os pontos ótimos de quantidades a serem comercializadas dados os preços e os três momentos de contratações. Com isso, através da metodologia proposta são obtidas as possibilidades de contratações, das estratégias ótimas, que auxiliarão as distribuidoras em suas decisões futuras.

Visando entender o impacto e as possíveis distorções do Mega-leilão nas estratégias de contratações das distribuidoras, realizou-se uma análise semelhante a esta no tópico seguinte, porém considerando o período de 2005 a 2008.

2.1.2. Estratégias de Contratações das Distribuidoras nos Leilões de 2005 a 2008

As estratégias de contratação das distribuidoras nos leilões de 2005 a 2008, ou seja, período sem adotar o mega-leilão, são apontadas a seguir (Figura 4.3).



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da CCEE.

Figura 4.3 – Percentagem de Contratação das 15 maiores Distribuidoras nos Três Tipos de Leilões de Energia Elétrica, sem o efeito do Mega-leilão (de 2005 a 2008)

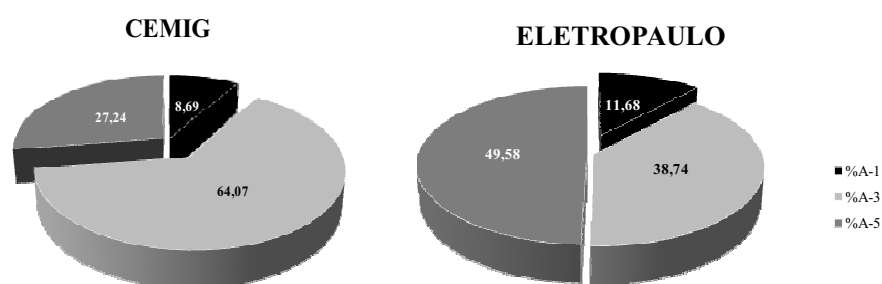
A Figura 4.3, que demonstra a percentagem de contratação em lotes das quinze maiores empresas distribuidoras de energia, no período de 2005 a 2008, ou seja, sem considerar o efeito do mega-leilão, mostra que aquelas empresas que contrataram uma maior quantidade de lotes nos leilões A-1, passaram a contratar mais no A-5, seguido de contratações no A-3 e por fim no A-1, sendo que este tipo de contratação provavelmente corresponde à contratação dos montantes de reposição³⁵ de energia das distribuidoras.

Das distribuidoras que apresentaram comportamento diferenciado (de acordo com a Figura 4.1) somente a CEMIG e a CPFL PAULISTA continuaram com as mesmas ações, isto é, contratando mais no A-3, como pode ser visto na Figura 4.3. Juntamente com essas duas empresas destaca-se a distribuidora BANDEIRANTE

³⁵ Montante de reposição, de acordo com o Decreto 5.163/2004, refere-se à quantidade de energia elétrica proveniente de contratos que foram extintos, ou que tiverem previsão de reposição da quantidade contratada, no ano de 2009 (subtraídas as quantidade advindas dos consumidores potencialmente livres e das variações de mercado).

que passou a comprar um pouco mais de lotes no A-3 (47,41%) e em seguida no A-5 (44,70%). A empresa CELESC permaneceu com a mesma ação estratégica, alterando muito pouco a percentagem de contratação em cada tipo de leilão ao se considerar os efeitos com e sem o mega-leilão. A empresa COPEL atuou contratando quase 65% no leilão A-1 quando se analisou o efeito do Mega-leilão e sem este efeito sua estratégia modificou extremamente, pois passou a contratar aproximadamente 62% de seus lotes de energia no A-5. Estratégia parecida foi adotada pela CELPE que havia contratado mais lotes no leilão de A-1, quando se analisa o efeito do mega-leilão; e contratou, sem o mega-leilão, mais energia no A-5, A-3 e A-1, respectivamente.

A Figura 4.4. compara as quantidades de lotes contratados pela CEMIG e pela ELETROPAULO nos leilões de A-1, A-3 e A-5, de 2005 a 2008.



OBS: Valores em percentagem.

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da CEEE.

Figura 4.4 - Diferença entre as Quantidades de Lotes de Energia Contratados pela CEMIG e pela ELETROPAULO nos Diversos Momentos de Contratações de 2005 a 2008.

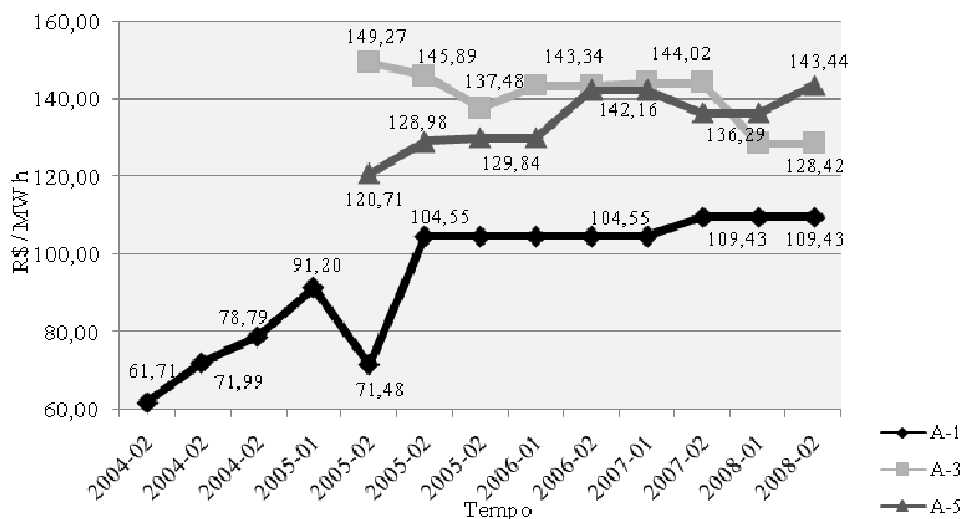
Pela Figura 4.4 percebe-se que as estratégias de ações das duas empresas ainda são distintas. Sendo que CEMIG permaneceu contratando mais no A-3 e a ELETROPAULO passou a comercializar com maior intensidade no leilão A-5, ao invés do leilão A-1. Percebe-se também que a ELETROPAULO alterou completamente seu portfólio de contratações, passando a comercializar mais nos momentos A-5, A-3 e A-1, respectivamente.

Uma variável importante para se entender as estratégias de ações das distribuidoras refere-se aos preços praticados nos leilões de energia existente e de energia nova, os quais serão abordados em seguida.

2.1.3. Preços de Contratações da Energia nos Leilões

Um dos fatores essenciais à tomada de decisão das distribuidoras é o preço pelo qual os lotes de energia serão comprados em um leilão. A determinação prévia destes preços é dificultada por uma série de fatores como: a previsão de mercado e de afluições; a disponibilidade de combustível e seu preço; os estudos das políticas comerciais, tarifárias e de racionamento de energia; e o gerenciamento da demanda e da expansão do sistema. Sendo que a interligação de todos esses fatores permite uma operação otimizada do sistema, informado pelo ONS.

Diante dos fatores expostos anteriormente, é apresentado na Figura 4.5 o histórico de preços médios da energia contratados em cada leilão, dados os diferentes tipos de leilões: A-1, A-3 e A-5.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da CCEE.

Nota: Valores corrigidos pelo índice preços de setembro de 2008. O eixo das abscissas corresponde ao período de tempo, dado em semestres.

Figura 4.5 - Comparação dos Preços Médios nos Momentos de Contratação.

Na Figura 4.5 nota-se que os preços do A-1 seguiram uma tendência de crescimento ao longo dos anos. Assim como os preços do momento A-5, porém este com uma intensidade menor. Enquanto que os preços no A-3 tiveram um comportamento inverso, reduzindo de 149,27 R\$/MWh no Primeiro Leilão (primeiro produto) para 128,42 R\$/MWh no Sexto Leilão de Energia Nova.

Pela Figura 4.5, observa-se, ainda, que no Primeiro Leilão brasileiro de energia existente, ocorrido no segundo semestre de 2004, (período 2004-02 da Figura 5.5) os preços estabelecidos foram baixos, podendo ser justificados pela grande quantidade de geradoras públicas existentes no sistema e pela preocupação em contratar um volume alto de energia, que atingiu 17.008 lotes. Outro ponto que merece ênfase no momento A-1 refere-se ao período 2005-02 (segundo semestre de 2005), correspondente ao Terceiro Leilão de Energia Existente, no qual o preço da energia caiu, por causa do reduzido prazo de vigência dos contratos (3 anos). Daí em diante, os preços mantiveram estabilizados, um pouco acima de cem reais.

Nos leilões de energia nova (a partir do segundo semestre de 2005), os preços inicialmente do momento A-3 eram superiores aos do A-5. No Terceiro Leilão de Energia Nova, os preços se aproximaram bastante; com preço do A-5 equivalente a 142,16 R\$/MWh, valor bem próximo àquele estabelecido no segundo leilão de energia nova, 143,34 R\$/MWh, no momento de contratação A-5. No Sexto Leilão (A-3) e no Sétimo Leilão (A-5), os preços inverteram; no momento A-3 a compra de energia foi feita por um preço inferior (128,42 R\$/MWh) ao preço do A-5, que foi de 143,44 R\$/MWh, tendo sido ambos os leilões realizados no mesmo mês.

Portanto, avaliando os resultados dos leilões realizados até 2008, conclui-se que o preço médio verificado no momento A-1 ficou em torno de 84,16 R\$/MWh, no A-3 foi de 141,40 R\$/MWh e no A-5 atingiu 133,57 R\$/MWh. Aparentemente, esse preço beneficiou os agentes de distribuição que compraram no A-1. Porém, os prazos de vigência destes contratos são menores e dependendo da situação econômica do país essa atitude pode ser negativa. Por exemplo, se após oito anos (prazo de vigência da maioria dos leilões de energia existente) os preços futuros, seguindo sua tendência de crescimento, estiverem acima dos preços estabelecidos hoje, tem-se como estratégia de decisão favorável aquela na qual os agentes de distribuição se contrataram por um período de 15 ou de 30 anos. Visto isso, percebe-se que existem diversas estratégias ótimas de contratação para as distribuidoras, o que enfatiza a

necessidade de se desenvolver um mecanismo de contratação seguindo métodos de otimização.

Sendo assim, calculou-se a variação média dos preços estabelecidos nos diversos momentos de contratação. No A-1, constatou-se que a variação de preços foi de 40,48%, baseada em todos os leilões de energia existente realizados até 2008. Contudo, desprezando os valores do Mega-leilão, no qual foram negociados vários produtos, devido à grande quantidade de lotes a ser contratada; e desprezando também os valores do Terceiro Leilão de Energia Existente, que foi atípico com o preço do lote muito baixo, por ter um produto leiloado de apenas três anos, obteve-se uma variação média de 4,45% nos preços. Dessa forma, considerou-se que a variação média dos preços nos leilões de energia existente, no período de 2005 a 2008 forneceria informações mais coerentes com relação à tomada de decisão futura das distribuidoras. No momento de contratação A-3, a variação de preços foi de 13,97%, e no A-5, a variação verificada foi de 15,85%. Essas variações de preços serão utilizadas na modelagem proposta.

2.2. Estudo de Casos baseados nos Resultados dos Leilões

2.2.1. Caso 1: Análise Comparativa dos Resultados dos Leilões Passados

Para esta análise considerou-se o estudo dos resultados obtidos nos leilões realizados entre os anos de 2004 a 2008, a fim de identificar as vinte maiores distribuidoras de energia³⁶ e suas respectivas estratégias de contratação, o que tornou possível a elaboração da Tabela 4.2. Além desse levantamento, fez-se o cálculo do preço médio de contratação dos leilões do tipo A-1, A-3 e A-5, durante o mesmo período (2004-2008), sendo estes valores apresentados na Tabela 4.3.

³⁶ Classificadas como maiores devido ao volume de contratação nos leilões de energia existente e nova até o ano de 2008.

Tabela 4.2 - Estratégias de Contratação (2004-2008)

Distribuidoras	A-1(%)	A-3(%)	A-5(%)
CELTINS	90,473	5,147	4,381
CEPISA	87,869	3,207	8,924
COELBA	69,107	11,130	19,763
CELPA	68,803	13,090	18,106
LIGHT	68,839	13,982	17,179
ELEKTRO	67,415	13,556	19,029
COELCE	66,335	14,257	19,407
ELETROPAULO	66,137	14,854	19,009
COPEL	64,731	8,237	27,031
COSERN	62,558	14,990	22,452
CELPE	60,399	18,318	21,283
BANDEIRANTE	56,763	22,256	20,981
AMPLA	55,901	9,847	34,253
ESCELSA	55,333	18,451	26,217
AES SUL	51,356	36,501	12,143
CEEE	47,975	11,267	40,758
CELESC	47,121	38,655	14,224
CEMAT	45,451	18,611	35,938
CPFL PAULISTA	38,820	39,652	21,528
CEMIG	16,261	58,762	24,977
Média de Contratação	59,382	19,239	21,379

Fonte: Elaboração própria a partir da CCEE.

Tabela 4.3 - Preço Médio dos Leilões (2004-2008)

A-1 (R\$/MWh)	A-3 (R\$/MWh)	A-5(R\$/MWh)
84,16	141,40	133,57

Fonte: Elaboração própria a partir da CCEE.

Com base na Tabela 4.2 e na Tabela 4.3 e considerando, por exemplo, uma demanda de mercado de 100MW médio para cada umas das distribuidoras, é possível obter uma sensibilidade entre os custos de contratação de cada distribuidora para o período de 2004 - 2008. Como pode ser observado na Tabela 4.2, até o ano de 2008, das vinte maiores distribuidoras, quinze delas comprometeram mais da metade de suas contratações no momento A-1, sendo que 70% destas vinte empresas seguiram o mesmo comportamento: contratações mais expressivas no A-1, seguida por contratações no A-5 e no A-3, respectivamente.

Essas decisões podem ser explicadas pelos preços médio praticados nos leilões até o ano de 2008, que podem ser verificados na Tabela 4.3. Sendo que o menor preço médio de compra ocorreu nos leilões A-1, equivalente a 84,16 R\$/MWh, o segundo menor preço médio no A-5 (133,57 R\$/MWh), e no A-3 com o valor de 141,40 R\$/MWh. Uma análise interessante é desconsiderar o efeito do Mega-leilão (leilão multi-produtos realizado em 2004) no preço, dado o tipo de leilão A-1. Com isso, observa-se que o preço médio altera-se de 84,16 R\$/MWh para 101,73 R\$/MWh, sendo que este ainda continua sendo inferior ao negociado nos demais momentos de contratação. Dessa forma, dado que nos procedimentos de leilões os participantes agem de acordo com informações imperfeitas, ou seja, desconhecem as ações, as crenças e os tipos dos outros jogadores, então as ações tomadas pela maioria das empresas analisadas estão de acordo com as estratégias ótimas a serem adotadas.

A Tabela 4.4 apresenta o custo médio, estimado, de contratação de cada uma das vinte distribuidoras apresentadas.

Tabela 4.4 - Custo Médio de Contratação por parte das Distribuidoras (2004-2008)

Distribuidoras	Custo (R\$)
CELTINS	78.200.958,00
CEPISA	79.195.042,80
COELBA	87.859.033,20
CELPA	88.125.074,40
LIGHT	88.170.801,60
ELEKTRO	88.757.984,40
COELCE	89.273.247,60
ELETROPAULO	89.400.092,40
COPEL	89.554.618,80
COSERN	90.958.321,20
CELPE	92.121.386,40
AMPLA	93.487.158,00
BANDEIRANTE	93.965.016,00
ESCELSA	94.323.124,80
CEEE	97.014.985,20
AES SUL	97.282.428,00
CEMAT	98.611.057,20
CELESC	99.263.064,00
CPFL PAULISTA	102.924.744,00
CEMIG	113.999.661,60

Fonte: Resultados da pesquisa.

Analisando os resultados apresentados, percebe-se uma sinalização indicando que as distribuidoras que adotaram a estratégia de uma contratação mais forte no leilão A-1 obtiveram mais sucesso, ou seja, atenderam o mercado ao menor custo de contratação. É interessante observar que esta é a mesma sinalização apontada pelos resultados obtidos pelo algoritmo genético. Provavelmente, essa estratégia foi adotada tendo em vista que o prazo de contratação deste tipo de leilão é menor, e com isso, considerando-se que o cenário econômico não sofrerá mudanças bruscas em seu comportamento, tem-se que as decisões tomadas nesse tipo de contratação seriam menos arriscadas e mais previsíveis.

Dessa forma, pelas análises realizadas, o panorama exposto só apresentará tendência de modificação caso alguma variável não considerada, como por exemplo, uma crise econômica, interfira de forma acentuada nos preços da energia, principalmente nos leilões de energia existente (A-1). Supondo que uma crise econômica ocorra de forma sistemática e que atinja um longo período de tempo, os preços de alguns insumos das usinas termoeletricas poderiam se elevar e, tendo os agentes expectativas de crescimentos constantes nesta variável, o portfólio de contratações poderia vir a favorecer, por exemplo, a contratação no A-5. Enquanto que, uma crise pontual (como apresentada no caso 4), afetariam as percentagens de contratações de acordo com o seu tempo de duração.

Sendo assim, baseado nos resultados dos casos simulados aponta-se que a estratégia de contratação no leilão A-1 apresenta-se como a ótima para a maioria das empresas. Porém, algumas distribuidoras, como é o caso da CEMIG, adotaram estratégias contrárias àquelas apontadas como “ótimas”. Essas ações podem ser explicadas, talvez, pelo fato de que a CEMIG, especificamente, sofreu uma forte migração dos consumidores cativos para o Ambiente de Contratação Livre no ano de 2005, o que pode vir a justificar o baixo volume de contratação neste tipo de leilão (CEMIG, 2007).

De acordo com os resultados dos últimos leilões de energia, verificou-se uma elevação do número de geradoras que trabalham com fontes de energia nova de alto custo e bastante poluentes (termoeletricas), vide Tabela 1.1. Permanecendo esta tendência nos próximos leilões, é provável que se tenha uma elevação dos contratos nos leilões de A-1 (respeitados os montantes de reposição) até o momento, no qual estas fontes de energia deixem de compor o mercado de energia nova para fazerem parte do mercado de energia existente. A partir deste momento, a tendência de

contratação nos leilões de A-1 dependerá novamente do preço; caso, o cenário atual venha a se modificar (com preços no A-1 mais elevados devido à utilização de outras fontes de energia caras e preços nos leilões de energia nova mais baratos), conseqüentemente, os contratos, em sua maioria, estarão voltados aos leilões de A-3 e A-5.

2.2.2. Caso 2: Análise Comparativa baseada nas Alterações dos Volumes de Contratações

A fim de obter uma avaliação de como seriam as estruturas de custos das distribuidoras ELETROPAULO e CEMIG, optou-se por uma inversão das percentagens de contratações dessas empresas. A escolha dessas empresas deve-se ao fato de que foram as que apresentaram a maior diferenciação entre os montantes de lotes contratados nos diversos tipos de leilões.

Sendo assim, ao considerar que a ELETROPAULO poderia ter contratado quase 15% de seus lotes comercializados no leilão A-1, aproximadamente 66% no A-3, e 19% no A-5 (Tabela 4.5), dados os preços médios calculados para os leilões realizados (Tabela 4.3), ao invés das percentagens apresentadas na Figura 4.2, observou-se que seu custo de contratação de energia em leilões passaria de R\$ 89.400.000,00 para R\$ 115.114.459,20, o que significaria um aumento de 28,76%.

A situação financeira da CEMIG melhoraria caso tivesse seguido as percentagens de contratações expostas na Tabela 4.5, ao invés das percentagens descritas na Figura 4.2, pois deixaria de apresentar um custo de contratação de R\$ 113.999.661,60 e teriam um custo de R\$ 92.693.125,00, ou seja, uma redução de 18,69%.

Tabela 4.5 - Modificação nos Volumes de Contratações das Distribuidoras
ELETROPAULO e CEMIG

Distribuidoras	A-1(%)	A-3(%)	A-5(%)
ELETROPAULO	14,854	66,137	19,009
CEMIG	58,762	16,261	24,977

Fonte: Elaboração Própria.

2.3. Estudos de Casos baseados na Simulação de Algoritmo Genético

2.3.1. Caracterização da Simulação de Algoritmo Genético

A modelagem proposta partiu-se das seguintes premissas: (i) Período de análise de dez anos – 2008 a 2017 – assim como Dias (2007); (ii) carteira inicial de contratação de 100MW médios no ano de 2007; (iii) crescimento do mercado de 5% ao ano, conforme EPE (2005); (iv) a opção anual de um único leilão A-1, A-3 e/ou A-5; (v) obtenção de soluções que contemplem sempre a participação nos três tipos de leilões, com uma contratação mínima de 1% do mercado a ser atendido. O estudo foi direcionado dessa maneira a fim de representar de forma mais fiel as estratégias das distribuidoras, uma vez que pela análise das principais distribuidoras do país, estas possuem contratos em todos os tipos de leilão e ainda, pelo fato de que o Decreto 5163/2004, mencionar que as distribuidoras não podem variar de forma significativa seu cenário de contratação em relação às contratações já realizadas.

Em relação ao algoritmo genético³⁷, adotaram-se as seguintes características e valores para os parâmetros genéticos: (i) População formada por 300 indivíduos; (ii) 100 gerações; (iii) Taxa de Cruzamento de 90% da população; (iv) Taxa de Mutação de 5%; (v) inicialização da população de forma aleatória, porém com limites bem definidos de preços e mercado; (vi) convergência pelo número máximo de iterações; (vii) elitismo. É importante ressaltar que os valores acima mencionados foram o que apresentaram melhor resultado no que diz respeito à convergência, à qualidade das soluções e ao tempo de processamento.

Entre as principais dificuldades encontradas na resolução do problema destaca-se a questão referente à explosão combinatória inerente as alternativas de participação ou não nos leilões por parte das distribuidoras. Por exemplo, para um horizonte de estudo de dez anos somente em relação às alternativas de participação ou não nos leilões, sem contar possíveis combinações entre os preços e mercado, tem-se $2^{24} \cong 10^7$ combinações possíveis de participação, ou seja, algo na ordem de

³⁷ O programa computacional desenvolvido nesta dissertação (algoritmo genético) foi implementado em MATLAB versão estudante e o ambiente computacional utilizado para o processamento dos casos foi um Pentium IV, 1.6Ghz e 1 Gb de RAM.

dez milhões de possíveis estratégias de contratação, das quais a distribuidora deve optar por uma única.

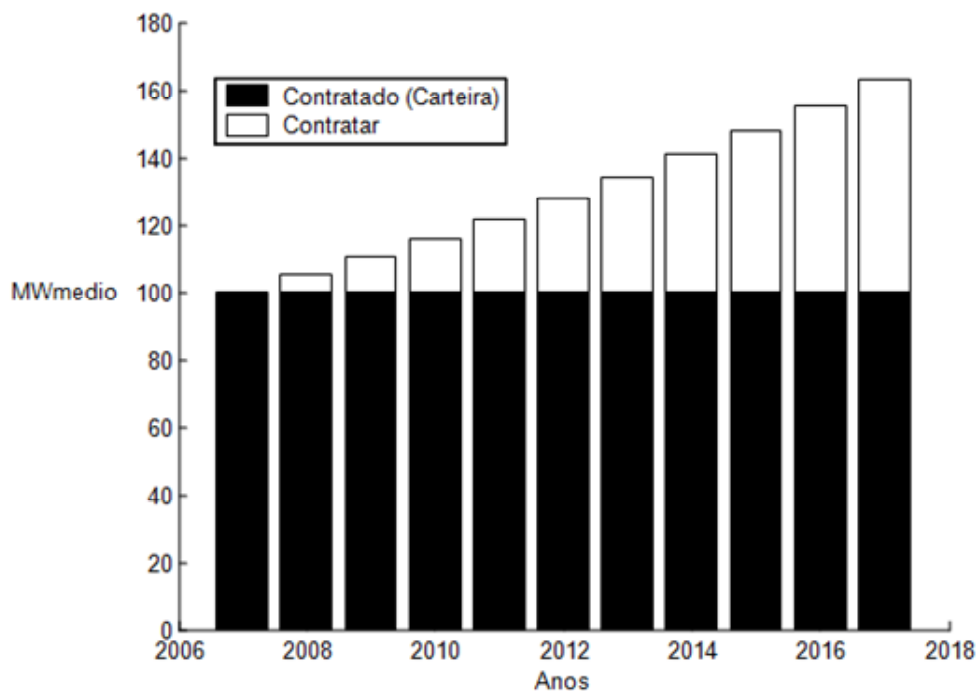
As próximas seções ilustram os estudos de casos realizados utilizando a metodologia proposta para a solução do problema referente às decisões ótimas de contratação por parte das distribuidoras de energia de modo a minimizar seus custos de contratação e garantir o atendimento ao mercado.

2.3.2. Caso 3: Partindo dos Preços de 2008 e Utilizando as Variações de Preço do Histórico

Para esta primeira simulação serão considerados:

(i) um crescimento de mercado de 5% ao ano, sendo que a Figura 4.6 ilustra o crescimento do mercado ao longo do período de estudo, apresentando o percentual já contratado em leilões anteriores (carteira de contratação já existente) ao ano de 2008 e o percentual do mercado a ser contratado com base em um crescimento previsto de 5% ao ano. Este nível de crescimento de mercado corresponde a um valor médio projetado para o crescimento do consumo de eletricidade, com relação às trajetórias alta (de 5,8% ao ano) e baixa (de 4,2% ao ano) definidas pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) no Resumo das Projeções de Mercado, para o período de 2005 a 2015 (EPE, 2005).

Pelo desconhecimento exato, do valor da demanda futura por energia, as empresas distribuidoras encontram-se diante de uma decisão envolvendo incertezas e, com isso, é mais provável que tomem suas decisões seguindo a Teoria da Escolha, descrita por Mas-Colell, Whinston e Green (1995). Ou seja, pode-se dizer que as distribuidoras, agem racionalmente, montando carteiras de contratos de energia (com quantidades específicas atreladas a cada tipo de leilões), as quais lhes proporcionem a maior utilidade esperada.



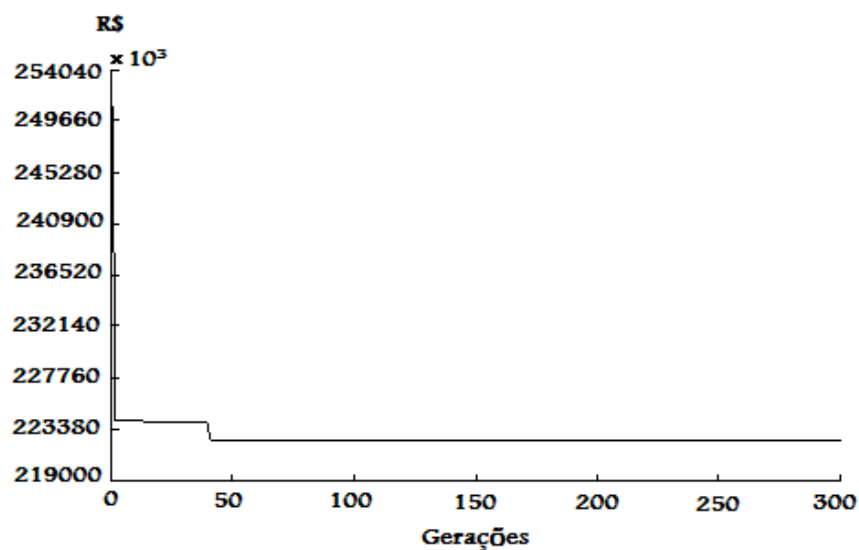
Fonte: Elaboração própria.

Figura 4.6 - Crescimento do Mercado a uma Taxa de 5% ao ano.

(ii) o histórico do preço dos leilões do tipo A-1, A-3 e A-5 já realizados, conforme ilustrado pela Figura 4.5. Entretanto, utilizou-se somente os valores a partir do segundo semestre de 2005, já que os valores anteriores a esta data são referentes ao Mega leilão (valores atípicos). De acordo com o histórico, tem-se as seguintes variações de preço: (a) leilão A-1, variações de até $\pm 4,45\%$; (b) leilão A-3, variações de até $\pm 13,97\%$; (c) leilão A-5, variações de até $\pm 15,85\%$. Estas variações foram utilizadas para a geração do cromossomo tipo B, referente ao preço dos leilões, no qual o preço do ano de 2008 é conhecido (já que a análise parte de 2007) e para os demais anos foram gerados novos preços com base nas variações apresentadas pelo histórico em cima dos preços finais de 2008.

A Figura 4.7 apresenta o gráfico de convergência do algoritmo genético para a primeira simulação, no qual se percebe uma redução de 11% em relação à melhor solução obtida na primeira geração. Ou seja, partiu-se de um custo de contratação de R\$ 254.040.000,00 (melhor solução entre as cem primeiras soluções geradas) e chegou-se a um custo final de R\$ 222.285.000,00 (última geração). A convergência apresenta-se na forma de escada, o que mostra a influência do elitismo no processo

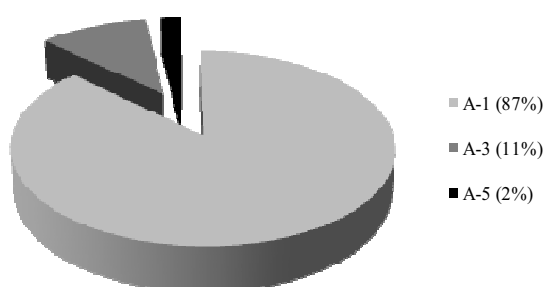
de otimização, já que a melhor solução da geração anterior está sempre presente na geração atual.



Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura 4.7 - Gráfico de Convergência do Algoritmo Genético – Caso 3.

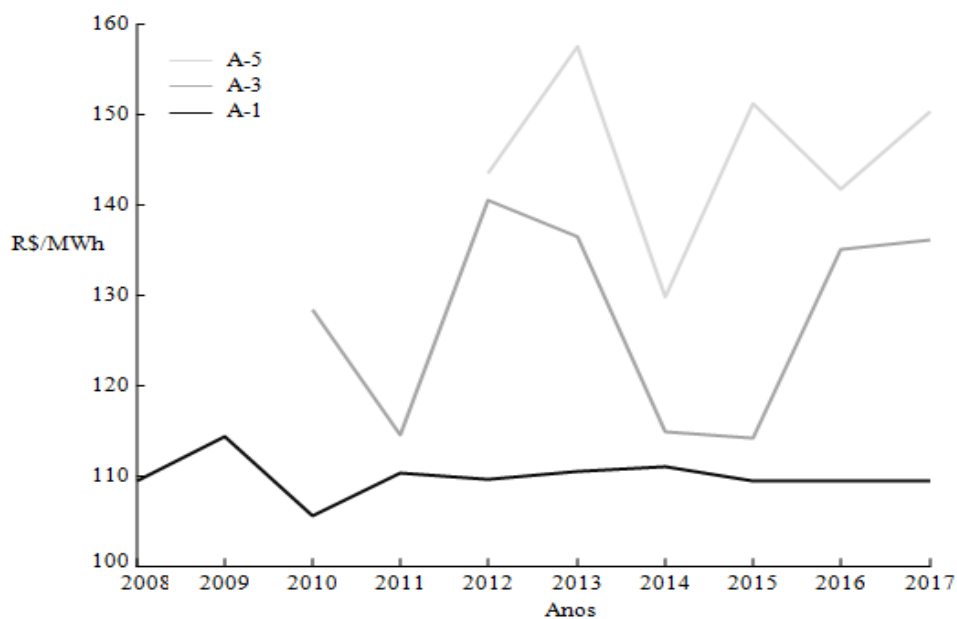
Em relação à decisão de contratação, a Figura 4.8 apresenta o gráfico do percentual de contratação encontrado pelo algoritmo genético, no qual se verifica a indicação de que a melhor estratégia é a contratação, de grande parte do mercado da distribuidora, no leilão A-1, seguida pelos leilões A-3 e A-5, respectivamente.



Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura 4.8 - Contratação Ótima encontrada pelo Algoritmo Genético – Caso 3.

A Figura 4.9 apresenta a série de preços que combinada com a estratégia de contratação apresentada pela Figura 4.8 gerou a melhor solução encontrada pelo algoritmo genético, ou seja, um custo de contratação de R\$ 222.285.000,00. É importante lembrar que durante o processo de busca foram geradas 30.000 soluções (300 gerações x 100 indivíduos), ou seja, 30.000 séries de preços para cada um dos tipos de leilões.



Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura 4.9 - Valores dos Preços dos Leilões obtidos pelo Algoritmo Genético – Caso 3.

Como estes preços são gerados de forma aleatória, dentro de limites pré-determinados através da análise dos leilões já realizados, e devido a natureza combinatória do problema (decisão, preço, mercado) é possível e natural que para uma nova simulação a mesma solução não seja encontrada. Assim, como na maioria dos trabalhos envolvendo algoritmos genéticos, optou-se em fazer novas simulações e destas, calculou-se a média e a mediana dos resultados, adotando-se estes valores como indicações da solução final.

A Tabela 4.6 apresenta os resultados obtidos para as trinta simulações realizadas e a Tabela 4.7 a média e a mediana destas simulações.

Tabela 4.6 - Resultado das Trinta Simulações do Algoritmo Genético – Caso 3

Simulação	Custo (R\$*10 ³)	A-1 (%)	A-3 (%)	A-5 (%)	Simulação	Custo (R\$*10 ³)	A-1 (%)	A-3 (%)	A-5 (%)
1	225438	87	11	2	16	220568	93	6	1
2	222652	95	3	2	17	222486	96	1	3
3	218973	96	2	2	18	224904	93	5	2
4	224650	95	3	2	19	223520	94	4	2
5	223520	94	4	2	20	223879	92	5	3
6	218973	96	2	2	21	227129	89	8	3
7	225307	90	8	2	22	222836	92	6	2
8	223520	94	4	2	23	223239	92	7	1
9	223502	92	6	2	24	223520	94	4	2
10	223502	92	6	2	25	221776	91	5	4
11	220568	93	6	1	26	225307	90	8	2
12	223520	94	4	2	27	222337	93	3	4
13	218973	96	2	2	28	221487	95	4	1
14	224650	95	3	2	29	224273	92	4	4
15	223020	90	9	1	30	225815	93	4	3

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 4.7 - Média e Mediana das Simulações Realizadas – Caso 3

Custo (R\$)	A-1(%)	A-3(%)	A-5(%)	
223.094.686,80	93,10	4,57	2,33	Média
223.371.240,00	93,00	4,00	2,00	Mediana

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os resultados encontrados mostram que a melhor estratégia de contratação por parte da distribuidora é contratar um valor mediano em torno de 93% do mercado no leilão A-1, de 4% no leilão A-3 e de 2% no leilão A-5. Isso indica que, para se obter uma estrutura de custo reduzida, dado os valores adotados, uma decisão otimizadora de custos seria a contratação de maior parte do mercado das distribuidoras nos leilões de A-1, com percentagens um pouco superiores a 90%, e o restante das contratações focadas no A-3 e A-5, respectivamente. Ressalta-se ainda, que se fosse possível a contratação do mercado total em um único leilão, a opção mais econômica seria obviamente a contratação de energias existentes (A-1), porém através de mecanismos de regulamentação, que devem, entre outras coisas, garantir a expansão do sistema através de novos empreendimentos e suas receitas (A-3 e A-5), isso não é possível, conforme Decreto 5.163/2004.

Uma situação adversa que poderia ocorrer e conseqüentemente modificar as estratégias de contratações das distribuidoras é uma alteração na taxa de crescimento do mercado. Diante disso, considerou-se dois cenários alternativos, seguindo os níveis de crescimento da demanda apontados pela EPE. Uma trajetória de alto crescimento econômico apresenta uma taxa de expansão da demanda de 5,8% e de com baixo crescimento a taxa é de 4,2% (EPE, 2005).

Sendo assim, considerando-se um cenário de demanda de energia em torno de 5,8% observou-se que uma solução, primeira simulação, para o problema seria contratar 80% no A-1, 16% no A-3 e 4% no A-5, que gera um custo médio de R\$ 225.999.240,00 (lembrando-se que cada simulação do AG são geradas 30.000 soluções). Os valores médios e medianos, das percentagens de contratações e dos custos, obtidos após diversas simulações são descritos na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Média e Mediana com Taxa de Crescimento da Demanda de 5,8% a.a.

Custo (R\$)	A-1 (%)	A-3 (%)	A-5 (%)	
226.722.816,00	78	18,6	3,4	Média
226.446.000,00	79	18	3	Mediana

Fonte: Resultados da pesquisa.

Caso o crescimento de demanda por energia esteja em torno de 4,2%, verificou-se que uma estratégia “ótima” de contratação das distribuidoras seria de 82% no A-1, 17% no A-3 e 1% no A-5, que gera um custo de R\$ 171.879.960,00. Após várias simulações as percentagens de contratações apresentaram os valores médios e medianos com apontados pela Tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Média e Mediana com Taxa de Crescimento da Demanda de 4,2% a.a.

Custo (R\$)	A-1 (%)	A-3 (%)	A-5 (%)	
174.432.624,00	80,5	14,3	5,2	Média
174.534.240,00	82	17	6	Mediana

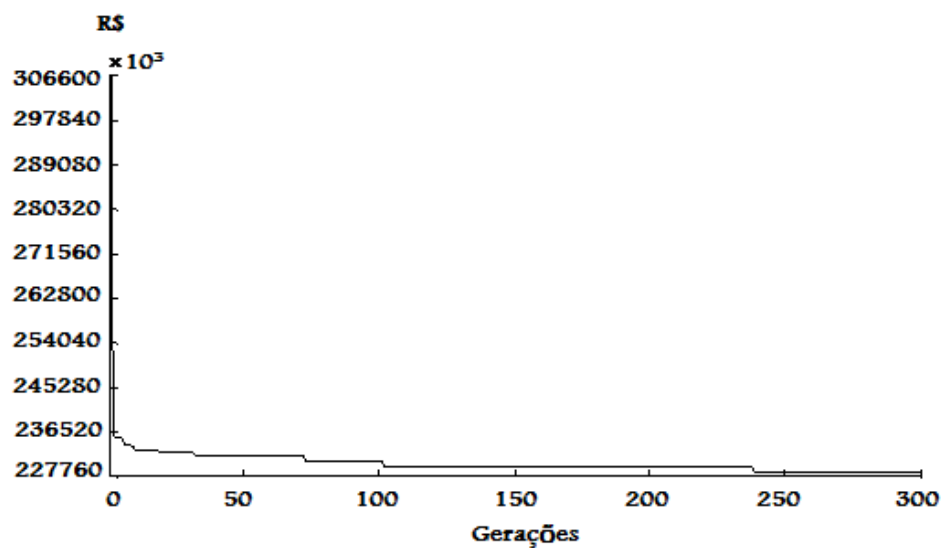
Fonte: Resultados da pesquisa.

Dadas as alterações nos cenários de crescimento da demanda por energia conclui-se que dentro da faixa de crescimento do mercado sinalizada pela EPE, 4,2% a 5,8% a melhor estratégia de contratação permanece sendo os leilões A-1, A-3 e A-5, respectivamente; mudando, apenas, o percentual de contratação, mas não a ordem.

2.3.3. Caso 4: Considerações de Fatores Externos

Para esta segunda simulação serão consideradas, assim como no caso anterior, o histórico do preço dos leilões do tipo A-1, A-3 e A-5, realizados no período de 2005 a 2008, e as respectivas variações de preços. Entretanto, neste segundo caso, simulou-se uma crise econômica com início em 2011 e término no final de 2013. Para tanto, neste período o preço da energia terá inicialmente uma forte tendência de alta, apresentando valores atípicos principalmente para o leilão de energia existente (supondo, variações de até 30%) sendo amortizada até que em 2014, ano no qual os valores do preço da energia voltam a variarem dentro da faixa de normalidade. O objetivo deste estudo de caso é verificar qual será a estratégia ótima perante uma crise econômica e qual o impacto no decorrer dos anos. Com isso, é possível identificar o comportamento que deverá ser adotados pelas distribuidoras dadas alterações adversas no mercado, bem como, a determinação de algumas estratégias ótimas a serem instituídas, caso a tendência de aumento dos preços estabelecidos nos leilões, especificamente no A-1, continue se verificando.

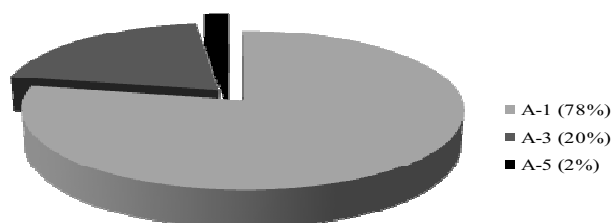
A Figura 4.10 apresenta o gráfico de convergência do algoritmo genético para a segunda simulação, pelo qual se percebe uma redução de 25% no custo da distribuidora em relação à melhor solução obtida na primeira geração. Ou seja, partiu-se de um custo de contratação de R\$ 306.660.000,00 (melhor solução entre as cem primeiras soluções geradas) e chegou-se a um custo final de R\$ 228.600.960,00 (última geração).



Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura 4.10 - Gráfico de Convergência do Algoritmo Genético - Caso 4.

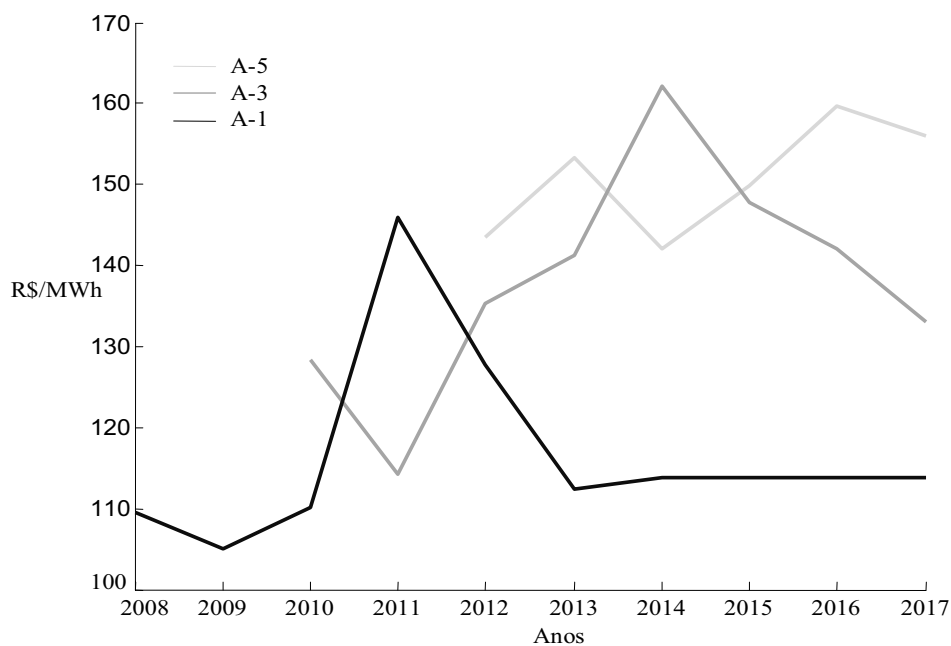
Em relação à decisão de contratação, a Figura 4.11 apresenta o gráfico do percentual de contratação encontrado pelo algoritmo genético, no qual se verifica que a melhor estratégia para as distribuidoras ainda é a contratação no leilão A-1, seguida pelos leilões A-3 e A-5. Entretanto, fazendo uma comparação com a primeira simulação, devido à crise econômica, o percentual de contratação no A-3 ganhou importância diante dos preços alcançados no leilão A-1 nos anos de 2011 e 2012, ver Figura 4.11.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 4.11 - Contratação Ótima encontrada pelo Algoritmo Genético – Caso 4.

Na Figura 4.12, observa-se os sintomas da crise de forma mais acentuada em 2011, conforme o comportamento de preços do A-1, sendo que esta repercute em preços mais elevados em 2014 no A-3, e em 2016 no A-5.



Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura 4.12 - Valores dos Preços dos Leilões obtidos pelo Algoritmo Genético – Caso 4.

Assim, como no caso anterior, optou-se em fazer novas simulações e destas, calcular a média e a mediana dos resultados, adotando-se estas como indicações da solução final para a análise proposta. A Tabela 4.10 apresenta os resultados obtidos para as trinta simulações realizadas e a Tabela 4.11 a média e a mediana destas simulações.

Tabela 4.10 - Resultado das Trinta Simulações do Algoritmo Genético – Caso 4

Simulação	Custo (R\$*10 ³)	A-1 (%)	A-3 (%)	A-5 (%)	Simulação	Custo (R\$*10 ³)	A-1 (%)	A-3 (%)	A-5 (%)
1	228600	78	20	2	16	234662	85	12	3
2	230221	89	10	1	17	229476	85	14	1
3	230957	82	15	3	18	232359	84	14	2
4	234943	80	15	5	19	230764	79	19	2
5	229704	83	14	3	20	231465	78	17	5
6	235179	78	21	1	21	231798	81	16	3
7	229590	82	14	3	22	229047	79	20	1
8	232989	86	12	2	23	229853	88	11	1
9	232569	80	16	4	24	231447	81	15	4
10	230571	76	19	5	25	230081	82	16	2
11	235784	82	14	4	26	229704	83	14	3
12	231062	78	19	4	27	232210	81	17	2
13	229459	83	15	2	28	231036	83	13	5
14	233497	86	13	1	29	228732	79	18	2
15	232359	84	14	2	30	232437	84	12	3

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 4.11 - Média e Mediana das Simulações Realizadas – Caso 4

Custo (R\$)	A-1(%)	A-3(%)	A-5(%)	
231.551.941,20	82,03	15,19	2,78	Média
231.255.240,00	82,23	14,78	2,60	Mediana

Fonte: Resultados da pesquisa.

O custo mediano para as distribuidoras pode ser observado na Tabela 4.11, ficou em torno de R\$ 231.255.240,00, com 82,23% dos contratos sendo realizados no leilão A-1, 14,78% destes contratos no momento de contratação A-3, e 2,6% no momento A-5.

2.4. Simulação do Leilão de Energia Existente

Baseado na sistemática dos Leilões de Energia Existente adotada no setor elétrico brasileiro realizou-se simulações dos leilões, a fim de avaliar o comportamento dos agentes e verificar a tendência dos preços durante os leilões.

Os procedimentos de Leilões de Energia Existente ocorrem em duas fases, conforme Figura 1.6, sendo a primeira para determinação da quantidade e a segunda para definição do preço a ser contratada a energia. Na próxima seção estão apresentados os resultados de duas simulações: uma considerando 20 agentes participantes de leilões de energia existente e a outra 10 agentes, em seguida, foram

descritas as conclusões obtidas com relação à concorrência dos agentes e aos preços estabelecidos nos leilões para esses dois casos.

2.4.1. Caso 5: Considerando 20 Agentes Participantes do Leilão

No primeiro estudo de caso, considerou-se um cenário com dados próximos aos verificados no Quinto Leilão de Energia Existente, ou seja, com a participação de 20 agentes geradores disputando o leilão em um momento inicial; um preço corrente de abertura do leilão de 105,00 R\$/MWh; uma quantidade total demandada (QTD) de 204 lotes (dado obtido através do resultado deste leilão); uma oferta de referência (OR) de 306 lotes, definida como 50% acima do valor da QTD (valor hipotético, pelo fato da EPE não revelar o valor que foi adotado); um PLD correspondente a 16,31 R\$/MWh (valor do PLD em janeiro de 2009); uma redução de até 0,10 R\$/MWh no preço estipulado pela EPE a cada rodada da primeira fase; uma redução de até 100 lotes para cada agente, na primeira fase; e uma redução de no máximo 5,00 R\$/MWh para o lance único da segunda fase, com relação ao preço de fechamento da primeira fase. Dessa forma, os resultados estão apresentados na Tabela 4.12.

Pela Tabela 4.12, observa-se que ao preço de 105,00 R\$/MWh todos os agentes participantes ofertaram lotes de energia na primeira rodada, totalizando 770,54 lotes. Na segunda rodada, da primeira fase, devido à redução do preço, alguns agentes deixaram de ofertar lotes, como foi o caso dos participantes: 1, 6, 8, 9, 11 e 18, havendo uma redução na Quantidade Total Ofertada (QTO) para 399,88. Já na terceira rodada, devido a novos decrementos de preços, novos agentes desistiram do jogo, permanecendo e sendo qualificados para a próxima fase, com o preço de R\$ 104,96, somente os agentes 3, 5, 7, 10, 13, 14, 15, 17 e 20. A QTO por estes agentes atinge o patamar de 301,40 lotes de energia, que se encontra no intervalo entre a QTD e a OR. Ao início da segunda fase são feitos lances de preço em envelopes fechados e vencem o leilão aqueles que ofertarem energia pelo menor preço, deste caso, o agente que propôs vender seu produto pelo menor preço foi o agente 5, pelo preço de 100,27 R\$/MWh e a quantidade de 35,67 lotes. Seguido pelos agentes 20, 10, 3, 15, 13 e 17, respectivamente. Destaca-se que o agente 17, por ter oferecido seus lotes por um preço maior, não conseguiu vender toda sua quantidade desejada,

sendo que vendeu 16,27 lotes de energia, enquanto estava disposto a vender 47,91 lotes.

Tabela 4.12 - Resultados da Simulação de um Leilão de Energia Existente (20 participantes)

LEILÃO DE ENERGIA EXISTENTE												
Número de Agentes = 20						Quantidade Total Demandada = 204 lotes						
PRIMEIRA FASE DO LEILÃO DE ENERGIA EXISTENTE												
Preço Máximo (1ª Fase) = 105,00 R\$/MWh						Preço Mínimo (1ª Fase) = 16,31 R\$/MWh						
LOTES OFERECIDOS NA PRIMEIRA FASE												
Rodadas	Quantidade de lotes oferecidos											
	Agentes											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Primeira Rodada	54,10	21,12	35,59	47,94	35,67	47,89	25,41	20,32	53,39	34,60		
Segunda Rodada	0	16,41	35,59	4,40	35,67	0	25,41	0	0	6,26		
Terceira Rodada	0	0	35,59	0	35,67	0	25,41	0	0	6,26		
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Primeira Rodada	49,34	27,89	24,09	40,35	53,83	39,83	47,91	46,59	23,93	40,37		
Segunda Rodada	0	27,89	24,09	40,35	53,83	17,40	47,91	0	23,93	40,37		
Terceira Rodada	0	0	15,65	40,35	53,83	0	47,91	0	0	40,37		
VARIAÇÃO DO PREÇO NA PRIMEIRA FASE												
Rodadas					Preço (R\$/MWh)			QTO				
Primeira Rodada					105,00			770,54				
Segunda Rodada					104,98			399,88				
Terceira Rodada					104,96			301,40				
Demanda Real = 204 lotes					Oferta Referência = 306 MW							
RESULTADO FINAL DA PRIMEIRA FASE												
Agentes Qualificados para a 2ª Fase				3	5	7	10	13	14	15	17	20
Preço Mínimo = 104,96 R\$/MWh					Quantidade Total Ofertada = 301,40							
SEGUNDA FASE DO LEILÃO DE ENERGIA EXISTENTE												
Preço Máximo (2ª Fase) = 104,96 R\$/MWh						Preço Mínimo (2ª Fase) = 16,31 R\$/MWh						
LANÇE FECHADO NA SEGUNDA FASE												
AGENTES	5	20	10	3	15	13	17					
PREÇOS (R\$/MWh)	100,27	100,53	100,62	100,74	101,60	101,85	103,49					
LOTES	35,67	40,73	6,26	35,59	53,89	15,65	16,27					
Quantidade Total Ofertada = 204 lotes												

Fonte: Resultados da pesquisa.

2.4.2. Caso 6: Reduzindo o Número de Agentes Participantes do Leilão

O segundo estudo de caso foi simulado com base nos dados descritos para o primeiro estudo de caso, com exceção do número de participantes que reduziu para dez.

Sendo assim, a Tabela 4.13 apresenta os resultados obtidos quanto ao número de lotes oferecidos pelos agentes, nas duas rodadas da primeira fase.

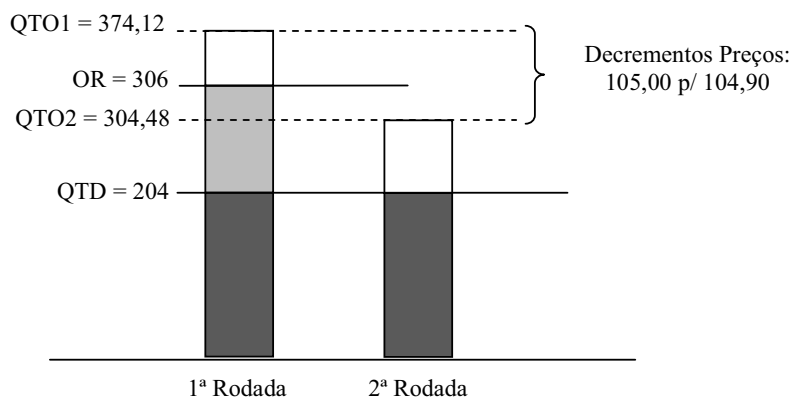
Tabela 4.13 - Resultados da Simulação de um Leilão de Energia Existente (10 participantes)

LEILÃO DE ENERGIA EXISTENTE											
Número de Agentes = 10						Quantidade Total Demandada = 204 lotes					
PRIMEIRA FASE DO LEILÃO DE ENERGIA EXISTENTE											
Preço Máximo (1ª Fase) = 105,00 R\$/MWh						Preço Mínimo (1ª Fase) = 16,31 R\$/MWh					
LOTES OFERECIDOS NA PRIMEIRA FASE											
Rodadas	Quantidade de lotes oferecidos										
	Agentes										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Primeira Rodada	36,95	48,67	41,83	46,95	42,66	20,77	30,87	50,88	23,02	31,51	
Segunda Rodada	0	48,67	41,83	46,95	42,66	0	27,58	50,74	23,02	23,02	
VARIAÇÃO DO PREÇO NA PRIMEIRA FASE											
Rodadas						Preço (R\$/MWh)			QTO		
Primeira Rodada						105,00			374,12		
Segunda Rodada						104,90			304,48		
Demanda Real = 204 lotes						Oferta Referência = 306 MW					
RESULTADO FINAL DA PRIMEIRA FASE											
Agentes Qualificados para a 2ª Fase				2	3	4	5	7	8	9	10
Preço Mínimo = 104,90 R\$/MWh						Quantidade Total Ofertada = 304,48					
SEGUNDA FASE DO LEILÃO DE ENERGIA EXISTENTE											
Preço Máximo (2ª Fase) = 104,90 R\$/MWh						Preço Mínimo (2ª Fase) = 16,31 R\$/MWh					
LANÇE FECHADO NA SEGUNDA FASE											
AGENTES	7	3	4	5	10	9					
PREÇOS (R\$/MWh)	100,79	101,20	101,69	102,86	103,89	103,94					
LOTES	27,58	41,83	46,95	42,66	23,02	21,95					
Quantidade Total Ofertada = 204 lotes											

Fonte: Resultados da pesquisa.

A Figura 4.13 representa a primeira fase do leilão de energia existente com suas respectivas fases. Em um primeiro momento, a quantidade total ofertada era de 374,12 lotes, enquanto que a quantidade total demandada era de 204 lotes e a oferta de referência de 306 lotes. Como a QTO1 estava acima da OR e da QTD, então o leiloeiro realizou um decremento no preço, entre a primeira e a segunda rodada (de 105,00 R\$/MWh para 104,90 R\$/MWh), essa pequena redução, de 0,10 R\$/MWh,

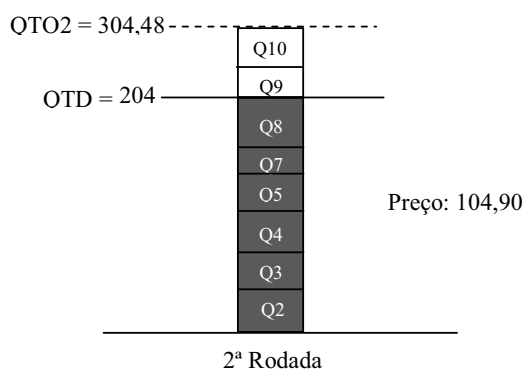
foi o suficiente para que a QTO2 ficasse entre a OR e a QTD. Ou seja, foram realizadas apenas duas rodadas.



Fonte: Elaboração Própria a partir dos resultados da pesquisa.

Figura 4.13 - Primeira Fase do Leilão de Energia Existente (Caso 5).

Sendo assim, os participantes que aceitaram a redução do preço foram qualificados para a segunda fase do leilão, e irão disputar entre si quem será o vencedor do leilão. A Figura 4.14 mostra os qualificados da primeira fase do leilão de energia existente, os quais fazem lances únicos de preços, em envelope fechado, a fim de vencer o leilão. Os preços dos lances fechados devem ser menores ou iguais ao preço de fechamento da primeira fase, que neste caso é 104,90 R\$/MWh.



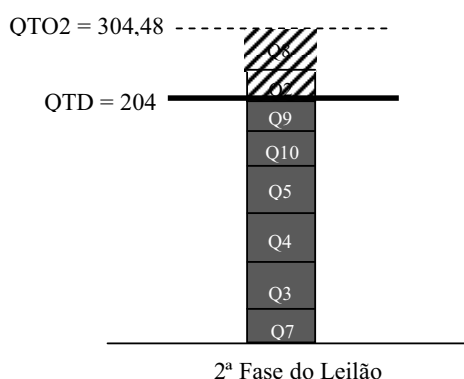
Fonte: Elaboração Própria a partir dos resultados da pesquisa.

Figura 4.14 - Agentes Qualificados da Primeira para a Segunda Fase do Leilão de Energia Existente.

Os valores de Q2, Q3, Q4, Q5, Q7, Q8, Q9 e Q10, da Figura 4.13, podem ser visualizados na Tabela 4.13, no campo quantidade de lotes oferecidos por cada

agente na primeira fase do leilão, por exemplo, Q2= 48,67 lotes, Q3= 41,83, e assim por diante.

Dessa forma, considerando os dados referentes à segunda fase do leilão na Tabela 4.13, visualiza-se a Figura 4.15, que apresenta a classificação dos vencedores do leilão, dado o critério do menor preço.



Fonte: Elaboração Própria a partir dos resultados da pesquisa.

Figura 4.15 - Classificação dos Agentes após os Lances de Preços na Segunda Fase do Leilão.

Pela Figura 4.15 é fácil verificar que o agente 7 foi quem lançou o menor valor para o lote de energia (100,79 R\$/MWh, conforme Tabela 4.13) e com isso, garantiu a venda de todos os seus lotes postos a venda. Seguido pelos agentes 3, 4, 5, 10 e 9. Contudo, o agente 9 não conseguiu vender todos os seus lotes desejados, se restringindo apenas à quantidade necessária para completar a QTD, ou seja, 21,95 lotes, enquanto almejava vender 23,02 lotes. Os agentes 2 e 8, mesmo tendo sido qualificados para a segunda fase, por terem lançado preços superiores aos dos demais participantes, não conseguiram vencer o leilão.

Dados os resultados apresentados nos Casos 5 e 6, conclui-se que ao aumentar o número de agentes participantes a tendência é que os preços dos lances, na segunda fase do leilão, reduza-se. Assim como, quanto maior o número de decrementos de preços, entre as rodadas da primeira fase, menor será o preço de fechamento da segunda fase (preço negociado no leilão). Isso pode ser justificado pelo aumento da competição entre os agentes, que ao desconhecerem as ações e os tipos de seus oponentes, devido à presença de informações imperfeita, reduzem seus lances a fim garantirem a venda de seus lotes e não terem que ofertar seu produto no mercado de curto prazo. Porém, a redução do preço, por parte dos agentes, não

ocorre em grande escala, pois os agentes estariam contradizendo um dos seus principais objetivos: a maximização de lucros. Sendo assim, diante de uma situação de riscos e incertezas, cabe aos participantes do leilão definirem uma estratégia de ação que lhes garantam um alto rendimento, conjuntamente com o desejo de se vencer o jogo. Assim, um determinado agente, para vencer o jogo, deve lançar um valor acima da estratégia de lançamento de qualquer um dos outros lançadores, no entanto, inferior ao valor que ele atribuiu ao objeto, para que seu lucro corresponda a esta diferença.

2. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi desenvolvida uma análise detalhada dos resultados dos leilões de energia no Brasil, nos anos de 2004 a 2008, que veio a fornecer informações à ferramenta computacional elaborada nesta dissertação, a qual auxilia às distribuidoras em suas decisões de contratação de energia.

Embora os procedimentos de leilões tenham sido implantados há muito pouco tempo, e dada à indisponibilidade de uma série histórica de preços e de uma aplicação confiável de modelos de previsão, observou-se a sinalização de que a estratégia ótima das distribuidoras é a contratação no A-1. A contratação de energia existente provavelmente é mais vantajosa pelo fato de que os preços observados terem sido inferiores e de ser mais atraente e menos arriscado contratar por um período de tempo menor (contratos de no máximo 15 anos).

Um complicador que sempre existirá neste tipo de jogo, considerando-se um leilão como um jogo dinâmico com informação imperfeita, refere-se ao fato de que muitas variáveis estão envolvidas no processo de decisão das empresas. Sendo assim, apresenta-se como fontes de informação imperfeita: a indefinição de uma legislação de mercado, a possível formação de uma nova matriz energética (com outros tipos de fontes de energia e custos diferenciados), os *sunk costs*³⁸ das firmas incumbentes e as informações imperfeitas em relação a outras empresas.

³⁸ *sunk costs*, ou seja, custos afundados, correspondem a custos que não podem ser recuperados. No caso das distribuidoras de energia indicam que ao contratar em um determinado tipo de leilão sua compra já foi efetivada e mesmo diante de um outro tipo de leilão, que possua um custo mais baixo, esta não poderá alterar sua decisão de contratação uma vez que seus custos não podem ser recuperados.

Dessa forma, com relação aos resultados dos leilões anteriores foi possível classificar quais foram as maiores empresas distribuidoras a partir do volume de lotes contratados de 2004 a 2008. Sendo que destas apenas três empresas apresentaram comportamento diferenciado ao do restante das distribuidoras. Dada essa análise, a conclusão obtida é que a maioria das distribuidoras optou por contratar no momento A-1, seguido pelos tipos de leilões A-5 e A-3, respectivamente, dados os preços reais praticados. Estes preços seguiram uma tendência de crescimento ao longo dos anos nos leilões de A-1 e de A-5. Já o preço no momento de contratação A-3, apresentou uma queda em seu valor, correspondente a 13,97%. Sendo assim, as considerações quanto ao benefício de se contratar no A-1 só podem ser traçadas após uma análise da conjuntura do mercado, isto é, após uma avaliação dos fatores exógenos que podem afetar o setor e de sua magnitude.

No Estudo de Caso 1 foi feita uma análise comparativa dos resultados dos leilões anteriores baseada na função de custo (função de aptidão adotada). Sendo assim, foi calculado o custo total para as empresas declaradas como maiores em volume de contratação, e conclui-se que aquelas que contrataram mais no leilão A-3, apresentaram um custo total de contratação superior às das demais distribuidoras. E a inversão das percentagens de contratação (Caso 2) levaram à conclusão de que a estratégia mais econômica para as distribuidoras seria a contratação no A-1 (respeitados os limites de reposição de energia).

O objetivo principal do algoritmo genético desenvolvido foi determinar as estratégias ótimas de contratações a serem adotadas por parte das distribuidoras. Para tanto, foram ponderados dois estudos de casos (Casos 3 e 4) a fim de determinar as indicações de estratégias de contratação ótimas para as distribuidoras. O resultado do Caso 3 apontou um indicativo de que a melhor estratégia de contratação ocorre no leilão A-1, dadas às variações dos preços. O que veio a confirmar os resultados obtidos na análise dos leilões anteriores. Ao considerar uma crise econômica (Caso 4), que se propaga entre os anos de 2011 a 2013, os resultados deram um indicativo de aumento na quantidade contratada nos leilões A-3.

Com relação à simulação da sistemática nos leilões de energia existente (Casos 5 e 6), aponta-se que o objetivo principal foi a implementação da sistemática e a avaliação se o objetivo de venda de energia pelo menor preço, imposto pelo governo, foi atingido. Com a implementação da sistemática de leilões infere-se que quanto maior o número de agentes participantes do processo de leilão, menor é o

preço a ser contratada a energia, pois maior é a competição entre os agentes envolvidos e mais próximo de menor preço a ser cobrado dos consumidores. Outro ponto importante que pode ser auferido da implementação da sistemática dos leilões é que quanto mais rodadas de decrementos nos preços existir, maior é a possibilidade de se contratar energia por um preço mais baixo.

Dessa forma, enfatiza-se a contribuição deste trabalho na obtenção de resultados indicativos às estratégias de contratações das distribuidoras, dados os diversos tipos de contratações (A-1, A-3 e A-5) e na avaliação da eficiência dos leilões anteriores que permitiram concretizar conclusões a respeito de um processo de formação de preços tão recente.

Como trabalhos futuros aponta-se as seguintes modificações, com relação ao modelo de otimização proposto: a expansão do período de análise de dez para trinta anos, o que atingirá todo o período de contratação dos leilões A-5; a substituição do cromossomo tipo B por técnicas de séries temporais para estimar a variação de preço; a limitação das percentagens de contratações conforme os montantes de reposição das distribuidoras; a implementação dos limites para migração do A-1 para A-3 e deste para A-5 e vice-versa. Com isso será possível avaliar o impacto sobre os montantes de contratações em cada tipo de leilão e comparar dos reajustes tarifários das distribuidoras que compraram mais no A-3 ou A-5 com aquelas que contrataram mais no A-1, pois, como os valores praticados nos leilões impactam o VR (Valor de Referência), essas poderiam ter vantagens.

Sugere-se, também, a realização de uma análise que considere a competição dos agentes geradores, dada a possibilidade de comercialização no mercado de curto prazo; a aplicação da teoria dos jogos ao invés de algoritmos genéticos ou algum método híbrido; e a comparação da volatilidade do PLD com o preço praticado nos leilões, como qual o impacto do racionamento nos preços dos leilões.

A implementação da sistemática dos leilões de nova derivará importantes conclusões quanto à eficiência dos procedimentos de leilões. Ao introduzir atitudes comportamentais diferenciadas para os agentes, como aversão ao risco e neutralidade ao risco, sendo possível elevar, de forma substancial, as considerações a respeito das ações tomadas e dos preços de contratações.

REFERÊNCIAS

ANEEL – **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**, Aneel, 2008.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, informações técnicas, site: <http://www.aneel.gov.br>. (Acesso em: 28 de dezembro de 2007).

ANEEL, DIRETORIA GERAL. Resolução Normativa N° 169. Estabelece as condições para contratação de energia elétrica, em caso de indisponibilidade de unidade geradora ou empreendimento de importação de energia. De 10 de outubro de 2005.

ANEEL. DIRETORIA GERAL Resolução ANEEL N° 351. Estabelece os critérios para a aplicação dos procedimentos operativos de curto prazo no programa mensal de operação. De 11 de novembro de 1998.

ARAÚJO, J. L. A questão do investimento no setor elétrico brasileiro: reforma e crise. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 11, n. 1, p. 77-96, jul.2001.

AZEVEDO, E. M. **Modelo Computacional de Teoria dos Jogos Aplicado aos Leilões Brasileiros de Energia Elétrica**. Campinas, 2004. Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Campinas.

BANDEIRA, F. de P. M. O Processo de Privatização no Setor Elétrico Nacional. **Consultoria Legislativa**. Câmara dos Deputados, Brasília, ago.2005.

BARDELIN, C.E.A. **Os efeitos do Racionamento de Energia Elétrica ocorrido no Brasil em 2001 e 2002 com ênfase no Consumo de Energia Elétrica**. São Paulo, 2004. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo.

BRASIL, CONGRESSO NACIONAL. Lei N° 8.631/93. Dispõe sobre a fixação dos níveis das tarifas para o Serviço Público de Energia Elétrica. Diário Oficial, 04 de março de 1993.

BRASIL, CONGRESSO NACIONAL. Lei N° 8.987/95. Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previstos no art. 175 da Constituição Federal. Diário Oficial, 13 de fevereiro de 1995.

BRASIL, CONGRESSO NACIONAL. Lei N° 9.074/95. Estabelece as normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos. Diário Oficial, 07 de julho de 1995.

BRASIL, CONGRESSO NACIONAL. Lei N° 9.427/96. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica. Diário Oficial, 26 de dezembro de 1996.

BRASIL, CONGRESSO NACIONAL. Lei N° 9.648/98. Autoriza o Poder Executivo a promover a reestruturação das Centrais Elétricas Brasileiras – ELETROBRÁS. Diário Oficial, 27 de maio de 1998.

BRASIL, CONGRESSO NACIONAL. Lei N° 10.847/04. Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Diário Oficial, 16 de março de 2004a.

BRASIL, CONGRESSO NACIONAL. Lei N° 10.848/04. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica. Diário Oficial, 16 de março de 2004b.

BRASIL, PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Decreto N° 2.655/98. Regulamenta o Mercado Atacadista de Energia Elétrica e define as regras de organização do Operador Nacional do Sistema Elétrico. Diário Oficial, 02 de julho de 1998.

BRASIL, PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Decreto N° 5.163/04. Regulamenta a comercialização de energia elétrica e o processo de outorga de concessões de autorizações de geração de energia elétrica. Diário Oficial, 30 de julho de 2004a.

BRASIL, PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Decreto N° 5.175/04. Constitui o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico – CMSE. Diário Oficial, 10 de agosto de 2004b.

CARNEIRO, M. C. F. **Os Leilões de Longo Prazo no Novo Mercado Elétrico Brasileiro**. Rio de Janeiro, 2006. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CASTRO, M. A. L. **Análise dos Riscos de uma Distribuidora Associados à Compra e Venda de Energia no Novo Modelo do Setor Elétrico**. Brasília, 2004. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília.

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, informação técnicas, site: <http://www.ccee.org.br>. (Acesso em: 06 de agosto de 2008).

CEMIG. Relatório de Sustentabilidade 2007. Site: <http://www.cemig.com.br>. (Acesso em: 13 de março de 2009).

CORREIA, T. B.; MELO, E.; COSTA, A .M. da. Análise e Avaliação teórica dos leilões de compra e venda de energia elétrica. **Revista Economia**, v. 7, n. 3, p. 485-508, set/dez 2006(a).

CORREIA, T. B.; MELO, E.; COSTA, A .M. da; SILVA, A. J. da. Trajetória das Reformas Institucionais da Indústria Elétrica Brasileira e novas perspectivas de mercado. **Revista Economia**, v. 7, n.3, p. 607-627, set/dez 2006(b).

COSTA, R. C.; PIEROBON, E. C. Leilão de Energia Nova: Análise da Sistemática e dos Resultados. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 27, p. 39-58, mar. 2008.

DIAS, B. H. **Modelo de Análise de Riscos Aplicado ao Setor Elétrico Brasileiro**. Rio de Janeiro, 2006. Dissertação de Mestrado - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

DIAS, I. V. **Estratégias de Gestão de Compra de Energia Elétrica para Distribuidoras no Brasil**. Curitiba, 2007. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná.

ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S. A., informações sobre suas atribuições, site: <http://www.eletrabras.gov.br>. (Acesso em: 20 de abril de 2009).

EPE – Empresa de Pesquisa Energética, informação técnicas, site: <http://www.epe.gov.br>. (Acesso em: 05 de janeiro de 2008).

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Mercado de Energia Elétrica 2006-2015**. Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, 2005.

FITTIPALDI, E. H. D. **Leilões de Comercialização de Energia Elétrica: Um Modelo para o Mercado Regulado no Brasil**. Recife, 2005. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Pernambuco.

FORTUNATO, R. S. **Alocação Ótima de Capacitores em Sistemas de Distribuição Desequilibrados Utilizando Algoritmo Genético**. Juiz de Fora, 2003. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Juiz de Fora.

GUIMARÃES, A. R. **Estratégia de Contratação das Distribuidoras em Leilões de Energia sob Incerteza da Demanda**. Rio de Janeiro, 2006. Dissertação de Mestrado – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

HUNT, S.; SHUTTLEWORTH, G. **Competition and Choice in Electricity**. Wiley, 1996.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo**, 2008. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: 01 de outubro de 2008.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Produto Interno Bruto, 2008. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: 01 de outubro de 2008.

JONG K. de; SPEARS, W. M. “Using Genetic Algorithms to Solve NP-Complete Problems”. In: **Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms**, 1990, p. 124–132.

KIRSCHEN, D. S.; STRBAC, G. **Fundamentals of Power System Economics**. Wiley, 2004.

KLEMPERER, P. **Auctions: Theory and Practice**. Princeton University Press, 2004.

KRISHNA, V. **Auction Theory**. Elsevier, 2002.

LEITE, A. D. **A Energia no Brasil**. Elsevier, 2007.

LINDEN, R. **Algoritmos Genéticos: uma importante ferramenta de Inteligência Computacional**. Brasport, 2006.

MARCATO, A.; GARCIA, P. A. N. ; SILVA JR, I. C. da; MENDES, A. G.; IUNG, A. M.; PEREIRA, J. L. R.; OLIVEIRA, E. J.de. Genetic Algorithm Approach Applied to Long Term Transmission and Generation Expansion Planning. In: **2006 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition Latin**

America, 2006, Caracas. 2006 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition Latin America, 2006.

MAS-COLLEL, A.; WHINSTON, M. D.; GREEN, J. R. **Microeconomic Theory**, Oxford University Press, 1995.

MCAFEE, R.P.; MCMILLAN, J. Auctions and Bidding. **Journal of Economic Literature**, v. 25, n. 2, p. 699-738, jun. 1987.

MENDONÇA, A. F.; DAHL, C. The Brazilian electrical system reform. **Energy Policy**, v. 27, p. 73-83, 1999.

MILGROM, P. **Putting Auction Theory to Work**. Cambridge, 2003.

OSBORNE, M. J.; RUBINSTEIN, A. **A course in game theory**. Massachusetts: The MIT Press, 1994.

PINTO JUNIOR, H.Q.; ALMEIDA, E. F. de; BOMTEMPO, J. V.; IOOTTY, M., BICALHO, R. G. **Economia da Energia – Fundamentos Econômicos, Evolução Histórica e Organização Industrial**. Elsevier, 2007.

PIRES, J.C.L.; GIAMBIAGI, F.; SALES, A.F. As Perspectivas do Setor Elétrico após o racionamento. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 18, p. 163-204, dez. 2002.

PIRES, J.C.L.; GOSTKORZEWICK, J.; GIAMBIAGI, F. **O cenário macroeconômico e as condições de oferta de energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: BNDES, mar. 2001. (Texto para Discussão 85).

REEVES, C. R.; ROWE, J.E. **Genetic Algorithms: Principles and perspectives: a Guide to GA Theory**. Kluwer Academic Publishers, 2003.

RILEY, J. G.; SAMUELSON, W. F. Optimal Auctions. **The American Economic Review**, v. 71, n. 3, p. 381-392, jun. 1981.

SENJU, E. K. A.; SILVA, E. M. As novas formas de comercialização de energia: o caso dos leilões. **Revista de Economia da UEG**, v. 2, n. 2, p.1-19, jul/dez. 2006.

SOARES, G. L. **Algoritmos Genéticos: Estudo, Novas Técnicas e Aplicações**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1997.

SUSTERAS, G. L. **Aplicação de Algoritmos Genéticos para Previsão do Comportamento das Distribuidoras como Apoio à Estratégia de Comercialização de Energia de Agentes Geradores**. São Paulo, 2006. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo.

VARIAN, H.R. **Microeconomia: Princípios Básicos – uma abordagem moderna**. Campus, 2006.

VENKATARAMAN, P. **Applied Optimization with MATLAB Programming**. John Wiley e Sons, 2002.

VICKREY, W. Counterspeculation, auction and competitive sealed tenders. **Journal of Finance**, v. 16, n. 1, p. 8-37, mar. 1961.

VICKREY, W. Auction and Bidding Games, 1962. In: **Game Theory in Economics** (The international library of critical writings in economics 5), by Ariel Rubinstein. Edward Elgar Publishing limited, p. 15-27, 1990.