

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

DIÓGENES ADRIANO RIZZOTTO JUSTO

ESTRATÉGIAS PARA LEILÕES DE ENERGIA

Porto Alegre

2011

DIÓGENES ADRIANO RIZZOTTO JUSTO

ESTRATÉGIAS PARA LEILÕES DE ENERGIA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, como quesito parcial para obtenção do grau de Mestre em Economia, modalidade Profissionalizante, com ênfase em Economia Aplicada.

Orientador: Prof. Dr. Sabino Porto Júnior

Porto Alegre

2011

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

Responsável: Biblioteca Gládis W. do Amaral, Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS

Justo, Diógenes Adriano Rizzotto

S237e Estratégias para leilões de energia. Diógenes Adriano Rizzotto Justo. -
Porto Alegre, 2011.

130 f.: il.

Orientador: Sabino Porto Júnior.

Ênfase em Economia Aplicada.

Dissertação (Mestrado Profissional em Economia) – Universidade
Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Ciências Econômicas,
Programa de Pós-Graduação em Economia, Porto Alegre, 2011.

1. Teoria dos Jogos : Teoria de leilões. 2. Teoria de leilões : Estratégias.
I. Porto Júnior, Sabino. II. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
Faculdade de Ciências Econômicas, Programa de Pós-Graduação em
Economia. III. Título.

CDU 519.83

DIÓGENES ADRIANO RIZZOTTO JUSTO

ESTRATÉGIAS PARA LEILÕES DE ENERGIA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, como quesito parcial para obtenção do grau de Mestre em Economia, modalidade Profissionalizante, com ênfase em Economia Aplicada.

Aprovada em: 16 de dezembro de 2011.

Prof. Dr. Sabino Porto Júnior - Orientador
PPGE/UFRGS

Prof. Dr. Stefano Florissi
PPGE/UFRGS

Prof. Dr. Julio Cesar Ruiz Claeysen
PPGMAp/UFRGS

Prof. Dr. José Luis da Silva Netto Júnior
PPGE/UFPB

Dedico este trabalho a minha família e a todos promotores e incentivadores da educação e do conhecimento, especialmente aos professores.

AGRADECIMENTOS

Atingir o grau de mestre é conquista restrita a uma parcela ínfima da população e sinto-me privilegiado em ter os incentivos e a oportunidade para tal feito. Como sempre tive gosto pela escrita, pensamento lógico, ciência e fundamentação teórica, elaborar esta dissertação foi uma tarefa cansativa sim, porém, extremamente prazerosa. Ainda assim, conciliar esta atividade com as demais atividades cotidianas é uma habilidade ímpar e requer, na maioria das vezes, compreensão pelos que nos rodeiam.

■ Sempre tive em meu irmão, Dagoberto, a figura de um professor: no alvorecer de minha adolescência, com ensinamentos para o colégio; na rebeldia de minha graduação, com o exemplo, apoio e palavras de alento para que eu seguisse e concluísse esta importante etapa e, por fim, com o exemplo motivador para este trabalho. Quem também serviu-me de exemplo fora a esposa de meu irmão, Profa. Manuela, que tem uma bronca secular comigo, por tê-la esquecido nos agradecimentos de minha formatura – espero que este seja o revés – meu muito obrigado.

■ Agradeço à minha mãe; Maria; que me incentivou aos estudos como objetivo prioritário de vida, desde que tenho consciência de minha existência – além de todo carinho e amor incondicional. Igualmente à minha Tia Lúcia, que me colocou ao colo quando ainda pequeno, junto a muitos livros, fazendo-me sonhar com o que eu queria ser quando crescesse, e Tias Catarina, Marcelina e todos demais familiares, que fizeram minha infância muito mais feliz que uma criança pode sonhar.

■ Ao Instituto de Matemática e aos mestres (todos doutores) que, na minha graduação em Matemática, confiaram em meu potencial, sem eu ainda ter ideia dos gigantes que eram, professores: Júlio Cesar Clayessen, Vilmar Trevisan, Teresa de Ruiz, Rudnei Dias da Cunha, Álvaro de Bortoli, Eduardo Brietzke, Leonardo Bonorino, Mark Thompson. Este trabalho teve muita inspiração através deles.

■ Aos exímios professores do PPGE, em especial aos:

■ Dr. Sabino Porto Júnior, meu orientador e primeiro a apresentar-me a teoria de jogos. Dr. Pedro Cezar Dutra Fonseca, possivelmente um dos melhores professores que já tive. Dr. Fernando Ferrari Filho, pelo entusiasmo com que nos fez entrar em calorosas e polêmicas discussões. Dr. Giacomino Balbinotto Neto, pela apresentação da economia da informação, teoria de incentivos e teoria do agente principal. Dr. Hélio Henkin, pela oportunidade de, através de um trabalho de campo, discutir o capitalismo e estratégias competitivas com ativistas socialistas em um assentamento do MST. Dr. Marcelo Savino Portugal, pela oportunidade de desenhar um gráfico tridimensional no quadro e aulas inspiradoras de econometria. Dr. Ronald Otto Hillbretch, pela compreensão no momento de ingresso na pós e oportunidade gerada – espero que aqui esteja uma resposta pela confiança depositada. Dr.

Stefano Florissi pela apresentação da microeconomia, um campo novo de estudo floresceu para mim.

■ Aos meus colegas de turma, com os quais tive uma grande identificação e, além disso, aprendi muito em todos os momentos: grupos de estudos, churrascos e pós-aulas para ficar na memória.

■ Aos sempre prestativos, amigos e parceiros, funcionários da CPGE, meu muito obrigado.

■ Sou extremamente grato à UFRGS (uma das melhores universidades do Brasil), com a qual aprendi a sonhar ainda criança, onde passei muitos anos frequentando salas de aula durante a graduação e pós, tive uma empresa incubada por dois anos e fui professor tutor do curso de administração.

"O Mestre na arte da vida faz pouca distinção entre o seu trabalho e o seu lazer, entre a sua mente e o seu corpo, entre a sua educação e a sua recreação, entre o seu amor e a sua religião. Ele dificilmente sabe distinguir um corpo do outro. Ele simplesmente persegue sua visão de excelência em tudo que faz, deixando para os outros a decisão de saber se está trabalhando ou se divertindo. Ele acha que está sempre fazendo as duas coisas simultaneamente."

(Texto budista)

RESUMO

A Teoria de Jogos tem sido amplamente utilizada para compreender e avaliar o comportamento dos agentes econômicos. Sua aplicação no estudo de leilões criou um ramo de estudos chamado Teoria de Leilões, através do trabalho pioneiro de Vickrey. Uma negociação realizada através de um leilão pode tomar diversas formas ou sistemáticas, cada qual com suas características. No Brasil, com a segunda reestruturação do setor elétrico em 2004, passou-se a utilizar este mecanismo para concessão de direitos de geração de energia elétrica, um monopólio do estado, por parte de organizações privadas. Diversos estudos abordam a eficiência de leilões, do ponto de vista da entidade organizadora, com objetivo de maximizar o bem estar para a sociedade. Este estudo visa construir um simulador numérico de leilões para avaliação de estratégias do ponto de vista do investidor. Estas estratégias estão condicionadas as características dos agentes participantes e do tipo de leilão. O trabalho adota uma perspectiva de avaliação da recente história dos leilões brasileiros a fim de identificar as estratégias possivelmente adotadas e sugere um modelo baseado na sistemática dos leilões aplicado computacionalmente a um simulador. De uma forma geral o trabalho segue o seguinte roteiro: teoria de jogos e teoria de leilões; mercado energético brasileiro de eletricidade; ferramentas financeiras para financiamento de projetos de energia; resultados dos leilões brasileiros; sistemática dos leilões; formatação do modelo. Elaboração do simulador utilizando: agentes; lógica *fuzzy*; função utilidade esperada e estratégias. Exercício de simulação: definição dos cenários; geração das bases de dados; execução do simulador. Para o fim a que se propõe, o simulador demonstrou refletir bem as situações encontradas na fase de pesquisa documental, propiciando boa flexibilidade para eventuais ajustes e adaptações. Foi possível utilizá-lo para testar situações limites entre ambientes de competição além de inferir questões relevantes ao investidor. A utilização de um simulador computacional tornou possível analisar numericamente situações não alcançadas somente com a teoria ou ferramentas analíticas.

Palavras-chave. Teoria de Jogos. Teoria de Leilões. Economia da Energia. Estratégias em Leilões. Simulação Numérica.

ABSTRACT

Game theory has been widely used to understand and evaluate the economic agents' behavior. Its application in auctions studies came up a study called Auction Theory, created by the pioneering job of Vickrey. A negotiation conducted through an auction, can take several ways or systematic, each one with its own characteristics. In the second restructuring process in Brazilian electricity sector, in 2004, started to use this mechanism, to granting electric power generation, a state monopoly, by private organizations. Several studies broach the efficiency of auctions, from organizer's point of view, in order to increase welfare for the society. This study aims to build an auction numerical simulator to evaluate strategies, from investor point of view (bidder). Those strategies are conditioned by auction mechanism and bidder characteristics. The job takes an assessment of recent history of Brazilian auctions, in order to identify possible adopted strategies, and suggests a model based on the auction systematic computationally applied to a Simulator. In general, the job follows those directions: game theory and auction theory; the Brazilian energy market for electricity; financial tools to finance energy projects; Brazilian auctions results; auctions' systematic; formatting model. Working up the Simulator, using: agents, *fuzzy* logic; expected utility function and strategies. Exercise Simulation: environment definition; databases generation; to run the Simulator. The Simulator showed good representation from real situations for those was proposed, with flexible code to new adoptions and implementations. It was possible to run in boundaries of competition environment that show some insight to investor's perspective. Use a computational simulator brings up a numerically way to understand some situations where just theory and analytical tools can't reach.

Keywords. Game Theory. Auction Theory. Energy Economics. Auction Strategies. Numerical Simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Jogo em Forma Extensa	20
Gráfico 2 – Função de Distribuição Uniforme	25
Gráfico 3 – Funções Demanda - Participantes Leilão Multiunidade.....	32
Gráfico 4 – Função Demanda Agregada Leilão Multiunidade.....	33
Gráfico 5 – <i>Payoffs</i> Leilão sobre Diferentes Tipos de Leilão Multiunidade.....	35
Figura 6 – Regime de Mercado Energia Elétrica Brasil – 1934 - 2001.....	40
Figura 7 – Sistema Elétrico Brasileiro – Agentes.....	42
Figura 8 – Planejamento Energético Brasileiro Longo-Prazo	42
Gráfico 9 – Séries de Preço Médio de energia no ACL.....	44
Figura 10 – Fluxo de Caixa do VPL.....	46
Figura 11 – Leilões Brasileiros Geração Energia ago/2005-out/2010.....	57
Gráfico 12 – Trade-Off %ACR <i>versus</i> %ACL.....	63
Gráfico 13 – Distribuição Lances por Empreendimento Leilão A-5 2008.....	64
Gráfico 14 – Distribuição Lances por Empreendimento Leilão A-1 2009 Eólica.....	68
Gráfico 15 – Distribuição Lances por Empreendimento Leilão Outras Fontes 2010.....	69
Figura 16 – Sistemática Leilão Belo Monte	70
Figura 17 – Macro Fluxo Leilão A-3-2009	77
Figura 18 – Diagrama Configuração Leilão A-3/2009	78
Figura 19 – Diagrama Etapa Hídrica, Rodadas Uniformes, Leilão A-3/2009.....	79
Figura 20 – Diagrama Etapa Hídrica, Rodada Discriminatória, Leilão A-3/2009	79
Figura 21 – Diagrama Etapa Outras Fontes, Rodadas Uniformes, Leilão A-3/2009	80
Figura 22 – Diagrama Etapa Outras Fontes, Rodada Discriminatória, Leilão A-3/2009.....	80
Figura 23 – Diagrama de Blocos Resumido: sistemática Leilão A-3/2009.....	81
Figura 24 – Fluxograma do Simulador.....	82
Figura 25 – Diagrama Agentes do Simulador	83
Gráfico 26 – Curva Parametrizada Lance Discriminatório	93
Gráfico 27 – Cenário de Simulação 1: Hidros e Termos.....	96
Gráfico 28 – Cenário de Simulação 2: Disputa por Entrada e Estratégias Financeiras.....	99
Gráfico 29 – Curva Lances <i>versus</i> Valor Lance	100
Gráfico 30 – Exercício de Simulação: Curva de Lances Cenário 2.....	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Jogo em Forma Normal.....	19
Tabela 2 – Fases Recentes Mercado Energia Elétrica Brasil	41
Tabela 3 – <i>Project Finance</i> – Vantagens e Desvantagens	48
Tabela 4 – Estratégias ACR <i>versus</i> ACL.....	64
Tabela 5 – Estratégias Porte <i>versus</i> Participação de Mercado	72
Tabela 6 – Alguns Resultados de Leilões	73
Tabela 7 – Estratégias e Impactos em Preço e Risco	86
Tabela 8 – Tabela <i>Fuzzy</i> de Impactos em Preço e Risco	87
Tabela 9 – <i>Array</i> de Empreendimentos de um Proponente Vendedor.....	89
Tabela 10 – <i>Array</i> de Proponentes Vendedores	89
Tabela 11 – Dados para Geração do Cenário 1	95
Tabela 12 – Dados para Geração do Cenário 2.....	98
Tabela 13 – Lances Cenário 1, Oferta Referência 1.200 MWh	101
Tabela 14 – Lances Cenário 2: Oferta Referência 1.600 MWh	102
Tabela 15 – Resultados Leilão A-5 2008.....	112
Tabela 16 – Resultados Leilão Fonte Eólica 2009.....	113
Tabela 17 – Resultados Leilão Disponibilidade Outras Fontes 2010	116
Tabela 18 – Cenário 1: Preços de Reserva.....	125
Tabela 19 – Cenário 2: Preços de Reserva.....	126
Tabela 20 – Exercício de Simulação: Empreendimentos Cenário 2.....	127
Tabela 21 – Exercício de Simulação: Lances Cenário 1	129

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ACL – Ambiente de Contratação Livre
- ACR – Ambiente de Contratação Regulado
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
- BEN – Balanço Energético Nacional
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento
- CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
- CGH – Central Geradora Hidrelétrica
- EOL – Usina Eólicoelétrica
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética
- GNL – Gás Natural Liquefeito
- MAE – Mercado Atacadista de Energia
- MME – Ministério de Minas e Energia
- ONS – Operador Nacional do Sistema
- PCH – Pequena Central Hidrelétrica
- PDE – Plano Decenal de Energia
- PLD – Preço de Liquidação de Diferenças
- PNE – Plano Nacional de Energia
- RET – *Revenue Equivalence Theorem* (Teorema de Equivalência de Receitas)
- SOL – Usina Solar ou de outra fonte
- SPE – Sociedade de Propósito Específico
- VPL – Valor Presente Líquido
- TIR – Taxa Interna de Retorno
- UTE – Usina Termelétrica
- UHE – Usina Hidrelétrica
- UTN – Usina Termonuclear

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DA LITERATURA: Teoria de Jogos e Teoria de Leilões	17
2.1 Teoria de Jogos	17
2.2 Teoria de Leilões	21
2.3 Leilões Multiunidade	29
2.3.1 <i>Leilão Preço-Uniforme</i>	34
2.3.2 <i>Leilão Discriminatório</i>	35
2.4 Conclusão	36
3 ECONOMIA DA ENERGIA: Financiamento, leilões e estratégias.....	37
3.1 Mercado de Energia Elétrica	37
3.2 Financiamento e Finanças em Projetos de Energia	45
3.3 Leilões Brasileiros de Energia	55
3.4 Conclusão	72
4 SIMULADOR E RESULTADOS	75
4.1 O Modelo baseado na Sistemática de Funcionamento do Leilão A-3/2009.....	76
4.2 Desenvolvimento do Simulador slmDJusto	81
4.3 Cenários para Simulação	94
4.3.1 <i>Cenário 1: Certame UHE e UTE</i>	94
4.3.2 <i>Cenário 2: Disputa por Entrada e Estratégias Financeiras</i>	97
4.4 Exercício de Simulação e Resultados	100
5 CONCLUSÃO.....	104
REFERÊNCIAS.....	106
APÊNDICE A - Leilões: Teoria versus Prática.....	110
APÊNDICE B - Tabelas de Resultados de Leilões	112
APÊNDICE C – Código Fonte Simulador: slmDJusto	118
APÊNDICE D – Bases de dados do Exercício de Simulação.....	125

1 INTRODUÇÃO

A teoria de jogos, um ramo da Matemática criado para modelagem de fenômenos que ocorrem quando dois ou mais agentes de decisão interagem entre si, foi aplicada notavelmente à Economia, no livro “Theory of Games and Economic Behavior”, pelo matemático John von Neuman e pelo economista Oskar Morgenstern, em 1944¹. Através do artigo “Non-cooperative games”, de 1951, o também matemático John Forbes Nash (agraciado com o Prêmio Nobel de Economia em 1994), apresenta o conceito de equilíbrio de Nash, que é ferramenta amplamente aceita e utilizada no campo da teoria dos jogos.

Um dos campos de aplicação da teoria de jogos são a formação e análise de leilões. A teoria de leilões foi inicialmente apresentada pelo matemático agraciado com o prêmio Nobel de Economia em 1996, Willian Vickrey, em seu artigo para o *Journal of Finance* no ano de 1961: “*Counterspeculation, auctions and competitive sealed tenders*”. O Teorema da Equivalência de Receitas pode ser considerado um marco teórico que permite garantir que sob determinadas condições, qualquer mecanismo de leilão é equivalente em termos de eficiência. Posteriormente seus estudos se ampliaram com avaliação de conluio.

Apesar de o estudo científico de leilões ser recente, praticamente contemporâneo, este método de compra e venda é utilizado há séculos, como forma de determinar (a) preço a pagar para um determinado bem ou serviço e (b) quem serão os agentes de compra e venda. Houve vários avanços através dos estudos de Milgrom, McMillian, Ausubel entre outros.

Com o advento da internet em meados dos anos 90, um excelente meio de comunicação democrático, rapidamente os *sites* de leilões tomaram forma e se disseminaram como

¹ Há de se ressaltar que houve vários ensaios anteriores sobre interação estratégica. Em 1713, James Waldegrave escreveu uma carta a Pierre de Montmort, onde está descrito o estudo do jogo Le Her, apresentando uma solução por estratégia mista. Montmort e Nicholas Bernoulli estudaram o conteúdo apresentado por Waldegrave e o inseriram como apêndice em um artigo publicado. Posteriormente, em 1838, Augustin Cournot publicou uma obra na qual discute um caso de duopólio. Este conceito de solução é uma versão do equilíbrio de Nash aplicado ao caso de duopólio.

ferramenta de compra e venda. A teoria de leilões vem sendo amplamente aplicada na prática, e foi introduzida a partir desta década, para transferência de direitos públicos a entes privados, em leilões de oferta de espectro de radiofrequência para comunicação móvel, privatizações de empresas públicas e demais ofertas de serviços públicos. A reestruturação do setor elétrico no Brasil teve início na década passada, com a desverticalização das empresas e alteração em suas atividades. Esta reestruturação consistiu, principalmente, na mudança de um ambiente monopolístico, baseado no custo, para um ambiente de competição, baseado no preço.

Assim, no capítulo 2, se abordará inicialmente o ferramental matemático apresentado pela Teoria de Jogos, buscando estabelecer uma linguagem comum para discussão no trabalho. Se seguirá com a abordagem da Teoria de Leilões, uma aplicação da Teoria de Jogos, com suas características em especial para leilões multiobjetos: leilões de preço uniforme e discriminatório. Uma abordagem é dada a função de utilidade esperada, a fim de avaliar possíveis utilizações.

Após a abordagem das teorias pilares para este trabalho, no capítulo 3 se avaliará o mercado de energia elétrica, com maior ênfase no mercado brasileiro de energia até o modelo atual. Feito isto serão avaliadas as ferramentas financeiras utilizadas para financiamento de projetos deste tipo. Com uma breve avaliação de cada leilão realizado entre 2007 e 2010, se terá condições de identificar as estratégias utilizadas pelos participantes, além da sistemática empregada nos mesmos.

No capítulo 4, será analisada a sistemática dos leilões, a fim de estabelecer um modelo para formulação do simulador. Serão escolhidas as técnicas de modelagem, será estabelecido o modelo e escrito o algoritmo. Com a definição dos cenários para simulação, se criarão os conjuntos de bases de dados para os exercícios de simulação, e os colocaremos em prática objetivando estudar as estratégias aplicadas.

2 REVISÃO DA LITERATURA: Teoria de Jogos e Teoria de Leilões

Neste capítulo se abordará o ferramental teórico em jogos e leilões, que servirá de base para o desenvolvimento do trabalho. Utilizar-se-ão algumas fórmulas matemáticas que serão úteis na compreensão das estratégias utilizadas em leilões (cap. 3), bem como na elaboração de bases de dados de simulação e no desenvolvimento do simulador (cap. 4).

2.1 Teoria de Jogos²

Conforme mostra Bortolossi (2007, p. 10), a teoria de jogos pode ser definida como a teoria dos modelos matemáticos, que estuda a escolha de decisões ótimas sob condições conflitantes. Os elementos básicos de um jogo são os jogadores e, para cada jogador, um conjunto de estratégias³. Para cada escolha de estratégia por parte dos jogadores, há um perfil que está contido no espaço de todos os perfis possíveis. Assume-se que cada jogador tem interesses ou preferências para dadas situações nos jogos e, portanto, há uma função de utilidade que atribui um número (o ganho ou *payoff* do jogador) a cada perfil de jogo.

Matematicamente, o conjunto finito de jogadores pode ser representado por:

$$G = \{g_1, g_2, \dots, g_n \mid n > 1\} \quad (1)$$

E cada jogador $g_i \in G$ possui um conjunto finito de estratégias denominadas puras. Portanto, o jogador g_i possui um perfil de estratégias S_i , em que cada s_{ij} representa a j -ésima estratégia para o i -ésimo jogador.

$$S_i = \{s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{im} \mid m > 1\} \quad (2)$$

² A principal fonte de consulta para teoria dos jogos foi Bortolossi (2007).

³ Para se definir um jogo, são necessários mais de um jogador e mais de uma estratégia para cada um deles.

O conjunto de todos os perfis de estratégias puras forma, portanto, o espaço de estratégias puras do jogo, através do produto cartesiano:

$$S = \prod S_i = S_1 \times S_2 \times \cdots \times S_n \quad (3)$$

E para cada jogador g_i , há uma função de utilidade que associa o ganho (*payoff*) $u_i(s)$ do jogador g_i a cada perfil de estratégias puras $s \in S$.

$$\begin{aligned} u_i &= S \rightarrow R \\ s &\rightarrow u_i(s) \end{aligned} \quad (4)$$

Do ponto de vista da Economia, em especial da Microeconomia, jogos descritos matematicamente desta forma são denominados jogos estratégicos.

Os jogos são classificados de acordo com sua natureza de formulação e tipo de aplicação. Quanto à natureza da interação entre os jogadores, um jogo pode ser classificado como cooperativo, quando os indivíduos atuam de forma conjugada, como em um time, onde a decisão de cada um se baseará na estratégia do grupo. De outra forma, chama-se um jogo de não cooperativo, ou competitivo, quando os indivíduos atuam com suas estratégias isoladamente, a fim de determinar um vencedor.

Diz-se que um jogo é de informação perfeita quando todos os jogadores conhecem toda a história do jogo, antes de fazerem suas escolhas. O jogo será dito de informação imperfeita, se algum jogador, em algum momento do jogo, tem de fazer escolhas sem conhecer a história do jogo até ali. O “vinte e um” jogado em cassinos, *black-jack*, é essencialmente um jogo de informação perfeita: basta ser um bom memorizador de cartas. No entanto, nem todos os seres humanos têm esta habilidade desenvolvida, a ponto de memorizar sequências de cartas de um ou mais baralhos e, além disso, jogadores entram e saem da mesa, o que o caracteriza como um jogo sequencial de informação imperfeita.

Quanto à assimetria de informações, um jogo é dito de informação completa quando as recompensas dos jogadores são de conhecimento comum. Porém, como dificilmente se

consegue entender perfeitamente o valor de cada *payoff* para cada jogador, na prática, muitos jogos são de informação incompleta.

Um jogo pode ser simultâneo, se desenvolvido somente em uma etapa (como um par ou ímpar), em que a estratégia é escolhida a fim de jogar o “tudo ou nada”, visto que há somente uma chance. A decisão tomada não causará implicações futuras (no que diz respeito ao jogo), visto que o jogo acaba após a revelação do vencedor. A representação gráfica de um jogo simultâneo, usualmente, é feita através de uma tabela comparativa entre os jogadores; quando se efetua a comparação entre 2 jogadores, expressando seus *payoffs* correlacionados, esse tipo de representação chama-se forma normal ou representação normal de um jogo Gibson (1992, p. 31). Por exemplo, para quaisquer jogadores g_i e g_k , tem-se a seguinte representação normal, como expressa a Tab. 1:

Tabela 1 – Jogo em Forma Normal

		g_i			
		s_{i1}	s_{i2}	...	s_{im}
g_k	s_{k1}	$[u_k(s_{k1}, s_{i1}), u_i(s_{i1}, s_{k1})]$	$[u_k(s_{k1}, s_{i2}), u_i(s_{i2}, s_{k1})]$...	$[u_k(s_{k1}, s_{im}), u_i(s_{im}, s_{k1})]$
	s_{k2}	$[u_k(s_{k2}, s_{i1}), u_i(s_{i1}, s_{k2})]$	$[u_k(s_{k2}, s_{i2}), u_i(s_{i2}, s_{k2})]$...	$[u_k(s_{k2}, s_{im}), u_i(s_{im}, s_{k2})]$

	s_{km}	$[u_k(s_{km}, s_{i1}), u_i(s_{i1}, s_{km})]$	$[u_k(s_{km}, s_{i2}), u_i(s_{i2}, s_{km})]$...	$[u_k(s_{km}, s_{im}), u_i(s_{im}, s_{km})]$

Fonte: elaborada pelo autor

Se o jogo se desenvolver em etapas sucessivas, como no xadrez, diz-se que o jogo é sequencial e a decisão tomada em cada etapa tem implicações nas etapas seguintes. Para jogos sequenciais, tem-se um perfil de estratégias para cada etapa do jogo, sendo que o perfil de estratégias do jogo será o produto cartesiano de todos os perfis de estratégias para cada etapa do jogo. Isto é, para cada etapa k do jogo sequencial, ocorrerá:

(5)

$$S_{ik} = \{s_{ik1}, s_{ik2}, \dots, s_{ikm_k} \mid m_k > 1\}^4$$

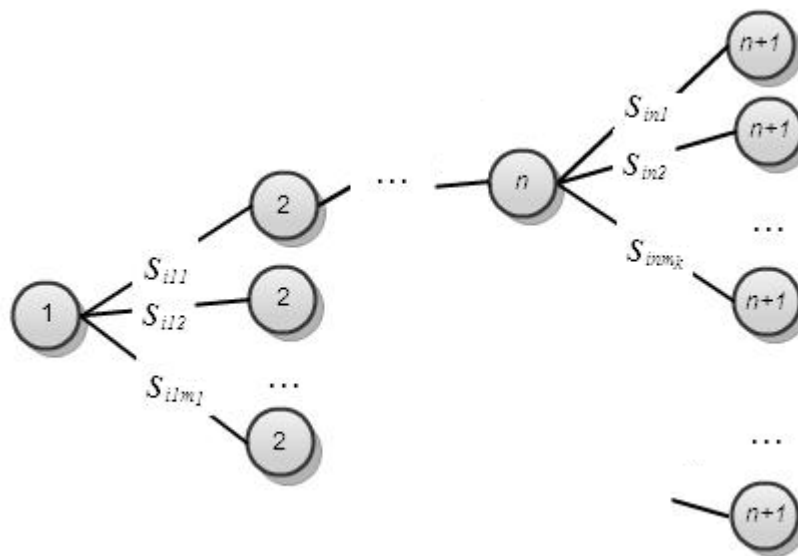
Sendo que o perfil de estratégias do jogador i , para um jogo com n etapas, será dado por:

(6)

$$S_i = \prod_{k=1}^n S_{ik} = S_{i1} \times S_{i2} \times \dots \times S_{in}$$

Já a representação gráfica de um jogo, na forma extensa, é feita através da elaboração de uma árvore de decisões, onde cada nó representa uma etapa do jogo, e cada ramo, uma ação do jogador, tal como se pode ver na Fig.1.

Figura 1 – Jogo em Forma Extensa



Fonte: elaboração própria

Estas representações em forma matemática e formas gráficas serão úteis nas seções seguintes, de forma a utilizar-se uma linguagem comum para expressão. A seguir, se apresentará uma curta apresentação da teoria de leilões, com enfoque para as questões relevantes ao desenvolvimento deste trabalho.

⁴ Repare-se que, neste caso, a quantidade de estratégias depende da etapa k do jogo; por isso, o índice k em m_k .

2.2 Teoria de Leilões⁵

A teoria de leilões é um ramo da teoria de jogos, que procura estudar as diversas formações destes mecanismos, bem como o comportamento dos jogadores (também chamados de licitantes). Apesar de o estudo científico de leilões ser recente, dir-se-ia que contemporâneo, este método de compra e venda é utilizado há séculos como forma de determinar (a) preço a pagar para um determinado bem ou serviço e (b) quem é o vencedor.

São incontáveis os tipos e formatos de leilões; porém, estes quatro modelos apresentados por Krishna (2002, p. 2) são considerados clássicos, pois generalizam uma estrutura básica. O leilão inglês, ou leilão aberto de preço ascendente é, provavelmente, o mais antigo tipo de leilão conhecido, e talvez o mais utilizado. Neste tipo de leilão, o vendedor não tem certeza sobre o valor do bem que está leiloando. É fixado um preço mínimo e, a partir daí, os compradores demonstram seu interesse (levantando a mão, por exemplo). Segundo regras predeterminadas, o preço é elevado sucessivamente até que reste somente um comprador interessado. O comprador paga, então, o valor estipulado, e arremata o bem.

Uma segunda forma, não comumente utilizada na prática, é o leilão alemão (ou holandês), ou leilão aberto de preço descendente. Neste formato, o vendedor estipula um preço bem alto pelo bem, imaginando que não haja comprador interessado em pagar aquele preço. A partir daí, anuncia-se um novo preço, menor que o enunciado na oferta imediatamente anterior. Este procedimento é repetido até que algum comprador demonstre interesse em arrematar o bem pelo novo preço anunciado, encerrando-se o leilão.

Outra forma comum de leilão é o leilão fechado de primeiro preço, *sealed-bid first-price*. Nesse tipo de leilão, os compradores enviam suas ofertas em envelopes lacrados, e todos os envelopes são abertos ao mesmo tempo, sendo que o menor preço vence o leilão. Um segundo tipo de leilão fechado, o de segundo preço fechado, *sealed-bid second-price*, foi

⁵ A principal fonte de consulta para teoria dos leilões foi Krishna (2002).

apresentado por Vickrey e, por isso, em sua homenagem, foi batizado de Leilão de Vickrey. A diferença para o leilão de primeiro preço é que, neste caso, o comprador que apresentar a melhor oferta será o ganhador; porém, irá pagar o segundo maior preço.

Em seus estudos, Vickrey analisou os três primeiros tipos (inglês, alemão e primeiro preço), formas mais usuais de leilões na época. Utilizando teoria de jogos, de acordo com Lucking-Reiley (2000, p. 13), ele conseguiu demonstrar que, do ponto de vista estratégico, os leilões alemão e fechado de primeiro preço são similares. Além disso, para um jogador racional, o lance será sempre um pouco menor que o valor máximo que ele pagaria pelo bem.

Voltando ao leilão inglês, onde o preço pago pelo bem é o segundo maior lance, ele constatou que a racionalidade do jogador o faria avançar além do seu preço máximo, tendo em vista que ele, jogador, pagará o preço anterior. Desta forma, ofertar o lance máximo que desejaria pagar pelo bem, e dar um lance maior, para ganhar o leilão, será a estratégia dominante para o jogador. Ou seja, o jogador vencedor atingirá o seu valor de reserva⁶. Dada a inexistência de um leilão fechado, com características estratégicas similares ao leilão inglês, Vickrey propôs o leilão fechado de segundo preço, que acabou sendo batizado de leilão de Vickrey, justamente por causa de seu proponente.

O senso comum pode provocar uma pergunta básica: mas por que aceitar o pagamento de um valor menor que o valor de lance vencedor? Não se estaria maximizando a utilidade para o vendedor, neste caso? Quando se pensa em função de utilidade, normalmente se pensa na maximização do retorno esperado. No caso de um leilão, entende-se que ele deve maximizar o valor do bem, para que seja bem-sucedido. Por essa razão, é que se utiliza a Economia da Informação, para entender o mecanismo de incentivos por trás desta operação.

No caso de bens públicos e políticas públicas em geral, a perspectiva é um pouco diferente. Não basta que a concessão seja transferida pelo preço que maximize a eficiência. É

⁶ Valor de reserva do jogador é o preço máximo que ele deseja pagar para a transferência. Note-se a diferença entre valor de reserva do jogador, e valor de reserva do vendedor.

necessário que o concessionário que adquire a concessão consiga administrá-la de forma básica, e mantê-la durante o período estipulado, além de conseguir cumprir os requisitos e níveis de serviço à população. Não há interesse, por parte do Estado, em conceder o serviço e ter de retomá-lo antes do tempo, por ineficiência da firma.

Para que a firma tenha eficiência, ela sim, deve maximizar o seu retorno. A maximização de retorno, em uma concessão pública, passa por um valor máximo a ser pago por ela, ou preço de reserva. Portanto, para o Estado, quando concessiona um serviço público, não basta maximizar o seu retorno, e sim encontrar a firma que tenha o maior valor de reserva a ser oferecido pela concessão, para então transferir os direitos. Com isso, diz-se que se atingiu a eficiência na concessão, conforme aponta Campbell (2006, p. 379).

O funcionamento da sistemática proposta por Vickrey poderia ser explicado da seguinte forma: através do leilão fechado de segundo preço, há um incentivo ao licitante demonstrar seu *payoff* real, através da revelação do seu valor de reserva.

Um leilão pode ser modelado como um tipo de jogo estratégico, sendo denominado competitivo (ou não cooperativo), quando não há cooperação entre os jogadores, e sim competição. Denomina-se simultâneo, quando há um só lance, ou sequencial, quando há sucessão de lances. Por fim, um leilão é um jogo de informação incompleta em sua essência, tendo em vista que os jogadores não conhecem os benefícios para os demais jogadores. Como um jogo estratégico, há no mínimo dois jogadores, cada qual com no mínimo duas estratégias. No caso do jogo estratégico leilão, a estratégia é o conjunto dos lances que são ofertados em cada etapa do jogo (ou rodada do leilão). Ou seja, dado i sendo o i -ésimo jogador, o conjunto de estratégias do jogador i será dado por S_i , como já se viu, em que s_{ik} é o k -ésimo lance ofertado pelo jogador i .

O incremento de um lance para outro também é um fator importante. Define-se o incremento da k -ésima rodada, para o jogador i , como sendo:

(7)

$$\Delta_{ik} = s_{ik} - s_{ik-1}$$

As regras que definem um leilão podem ser as mais variadas possíveis, de acordo com os objetivos, natureza dos bens leiloados, preços ascendentes ou descendentes, leilões de compra ou venda, enfim, há uma infinidade de possibilidades. Estas características influenciam o valor do incremento, valor de reserva⁷, entre outros parâmetros.

Porém, há uma característica básica no que diz respeito aos lances (o conjunto de estratégias): cada lance é sempre maior ou igual ao outro, se o leilão for de preço ascendente, ou menor ou igual ao outro, se o leilão for de preço descendente. Ou seja, para o conjunto S , sempre há uma função de distribuição monótona⁸ (não decrescente, para leilão de preço ascendente, ou não crescente, para leilão de preço descendente). Isto é, para leilão de preço ascendente:

(8)

$$S = \{s_{ij1} \leq s_{ij2} \leq \dots \leq s_{ijk} \leq \dots \leq s_{ijn}\}$$

Onde $k = 1$ até n é a ordenação dos valores dos lances. E para leilão de preço descendente, similarmente:

(9)

$$S = \{s_{ij1} \geq s_{ij2} \geq \dots \geq s_{ijk} \geq \dots \geq s_{ijn}\}$$

Onde $k = 1$ até n é a ordenação dos valores dos lances.

O lance vencedor será o s_{ijn} , ou seja, último lance do jogador i , fazendo dele o vencedor. Fica claro que o *payoff* não nulo será transferido ao vencedor, sendo que os demais terão *payoff* nulo. Isto é:

⁷ Valor de reserva do vendedor é o valor mínimo definido pelo vendedor, no qual ele aceita transferir o bem para o comprador. Assim, com o valor de reserva mínimo definido (que pode ser aberto ou oculto), após o enunciado do vencedor do leilão, o vendedor pode reservar-se o direito, sendo esta regra definida para o leilão, de somente transferir o bem, se o maior lance for maior ou igual ao valor de reserva.

⁸ Uma função $f: X \rightarrow \mathbb{R}$ (onde X está contido em \mathbb{R}) chama-se não decrescente quando $x, y \in X$, $x \leq y \rightarrow f(x) \leq f(y)$. De modo análogo, se define função não crescente. Ambas são classificadas monótonas (Lima, 2002, p. 162).

(10)

$$u_i(s_{ijn}) = \text{payoff lance } s_{ijn}$$

$$u_j(s_k) = 0, \forall j \neq i, k = 1 \dots n$$

Viu-se na definição de leilão que o conjunto de estratégias do jogo pode ser caracterizado como uma função de distribuição monótona. Na prática, aproxima-se por uma função contínua, que pode ter a característica de degraus. Uma função de distribuição para um jogador i pode ser em formato uniforme, quando os incrementos a cada lance são iguais para todas as rodadas. Isto é:

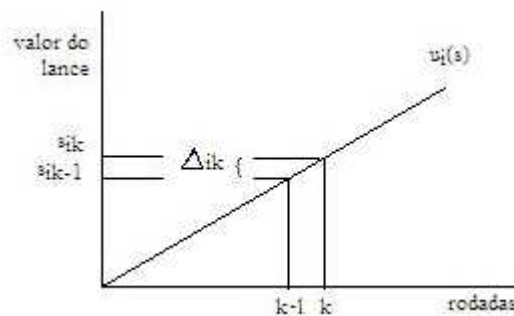
(11)

$$\Delta_{ik} = \Delta_{ik-1}, \forall k = 1 \dots m$$

Onde m é o número de rodadas do leilão.

Esta função se apresentará como no Gráf. 2, como demonstra Krishna (2002, p. 18), para um leilão ascendente.

Gráfico 2 – Função de Distribuição Uniforme



Fonte: Krishna (2002)

Em sua versão específica, o Teorema de Equivalência de Receitas⁹ foi originalmente demonstrado por Vickrey, com sua devida prova. A versão geral do teorema foi apresentada

⁹ Em inglês, *Revenue Equivalence Theorem (RET)*, é considerado a base para a Teoria de Leilões, originalmente apresentada em Vickrey (1961).

simultaneamente por Myerson (1981)¹⁰ e Riley e Samuelson (1981). (Krishna, 2002, p.28). O que o teorema busca apresentar é que, sob certas circunstâncias, qualquer mecanismo de leilão é equivalente: isto é, apresenta a mesma eficiência. A importância do teorema está além da elegância e eficiência matemáticas – ele cria uma base para estudos fundamentados na teoria de leilões, daí ele representar o marco de criação deste campo de estudos econômicos.

Enunciado do teorema: Assuma-se cada um dos n potenciais compradores, neutros em relação a riscos, tendo valores privados conhecidos e independentes, distribuídos segundo $F(v)$ estritamente crescente (não decrescente) e discreto (valores independentes) no intervalo $[v_1, v_2]$. Suponha-se que nenhum dos compradores quer mais que um dos k objetos indivisíveis idênticos disponíveis.

Sabe-se que muitas condições do teorema, na grande maioria das vezes, na vida real, são hipotéticas, como por exemplo, a consideração de que os licitantes são neutros em relação a risco. O que não quer dizer que o teorema de nada serve, muito pelo contrário: ele cria uma linguagem comum para que, relaxando-se algumas condições ou estabelecendo-se outras através de mecanismos, a base teórica possa ser aplicada no mundo real. Boa parte dos estudos de Klemperer (2004) e Krishna (2002) discorrem sobre variações nas condições do teorema, com diversas aplicações e seus impactos.

Um ponto crucial no estudo de concorrências, em especial leilões, é o conluio¹¹; porém, neste campo, os estudos teóricos são limitados. Talvez esta seja uma das principais afrontas à teoria de jogos – por mais que se teorize, é difícil provar que está havendo conluio. Pode o melhor mecanismo de leilão ser elaborado, com todos os prerequisites satisfeitos; porém, se houver conluio, a eficiência no leilão não será atingida, e o resultado ficará ao bel-prazer do

¹⁰ O trabalho de Myerson (1981) desenvolveu o chamado Princípio da Revelação (*Revelation Principle*) que explica através de incentivos, o funcionamento do leilão de Vickrey, além de estender o RET para o caso geral.

¹¹ Do inglês *collusion*, tema ao qual Vickrey passou a se dedicar na década de 1970, quando estendeu seu campo de estudos em Economia Pública, como se vê em Arnot (1998, p. 98).

cartel formado¹². Veja-se o caso clássico do dilema dos prisioneiros: se houver conluio entre eles, o equilíbrio de Nash não será verificado, pois nenhum confessará, e cada qual terá a sua pena reduzida.

Observando, agora, o comportamento dos participantes do leilão, espera-se que atuem racionalmente, dada sua percepção do risco. Para isto, utiliza-se uma função de utilidade esperada, que representa o perfil de estratégias do participante, sendo que esta função influenciará o preço de lance, que varia de acordo com as estratégias escolhidas. Como pode-se ver em Cusinato (2003, p. 79-80) a função utilidade esperada é afetada pelo comportamento frente ao risco, em sua concavidade - isto é, a variação de velocidade (incrementos marginais) na qual um determinado nível de utilidade (satisfação) é atingido. Assim, o comportamento dos agentes será modelado também segundo o impacto no risco, além do preço. Para isto, tomaremos a segunda derivada da função utilidade esperada, definindo a função comportamento em relação ao risco por ρ :

(12)

$$\rho_1(x) = -\frac{d^2U(x)}{dx^2} = -U''(x)$$

O sinal negativo aparece acima tendo em vista tratar-se de aversão ao risco, e não propensão. E fica claro, portanto, que sinal positivo representaria propensão ao risco, bem como resultado da derivada constante unitária, uma neutralidade em relação a percepção de risco. É usual ainda aplicar uma transformação ortogonal de forma a normalizar esta função, dividindo-a pela sua primeira derivada¹³:

¹² Nos Estados Unidos, os leilões de radiofrequência têm uma mal-explicada história até hoje. Imaginem-se leilões múltiplos de espectro de radiofrequência, separados em lotes de áreas de abrangência. Em áreas geograficamente próximas, pode-se esperar que exista ganho de escala em infraestrutura de rede (ganho operacional), bem como na corporação administrativa. Os lances para estes leilões eram abertos, ou seja, cada participante tinha informações sobre os valores de todos os concorrentes, a cada rodada. Também os valores dos lances não tinham um incremento dado – poder-se-ia dar um lance de valor arbitrário. Suspeita-se que houve conluio entre licitantes para diferentes áreas que estavam sendo licitadas, da seguinte forma: licitantes em conluio enviavam uma mensagem em forma aberta, colocando na parte de centavos do valor do lance, o número referente à área que desejavam ganhar. O licitante que entrasse em conluio deveria dar uma resposta, na forma de lance, colocando como contrapartida, na parte de centavos, o número referente à área que gostaria de ter em troca e, a partir daí, deixar o leilão. Este caso foi descrito por Harford (2007, p. 195).

¹³ Esta função também é chamada por alguns autores de CAR, coeficiente de aversão ao risco, como pode ser visto em Porrua(2005, p. 69)

(13)

$$\rho_2(x) = \frac{dU(x)^{-1}}{dx} \cdot [-U''(x)] = -\frac{U''(x)}{U'(x)}$$

Nota-se então que a percepção de risco pode mudar inclusive durante o leilão, de acordo com o andamento dos lances. Para efeito de simplificação do nosso modelo, adotaremos como premissa neste trabalho, que os agentes tem percepção de risco constante durante o leilão. Partiremos então para escolha da função utilidade a ser empregada, onde pode ser empregada uma certa dose de arbitrariedade. Porrua (2005, p. 70-75) apresenta alguns tipos de função utilidade, sendo que a escolha deu-se pelas características do leilão que simularemos. Presume-se que neste certame várias características ou atributos são avaliados pelos participantes, a fim de analisar sua satisfação. Assim, analizaremos uma função utilidade baseada na Teoria de Utilidade Multiatributo, que prega que os agentes apresentam certa regularidade estrutural em seu comportamento, definida, como podemos ver em Menezes, Silva e Linhares (2007, p. 22), com característica monótona decrescente, por:

(14)

$$U(\xi_i) = \frac{\exp\left[-\frac{(\xi_i^+ - \xi_i)}{\rho}\right] - 1}{\exp\left[-\frac{(\xi_i^+ - \xi_i^-)}{\rho}\right] - 1}$$

Onde ξ_i representa o i-ésimo atributo que está sendo considerado, além dos seus maiores e menores níveis, representados respectivamente por ξ_i^+ e ξ_i^- . Na Teoria da Utilidade Multiatributo a cada ξ_i correspondente uma função utilidade individual para cada atributo. Em nosso modelo de simulação, utilizaremos, sem perda de generalidade, uma única função, que pode ser entendida como a média da avaliação dos atributos individuais. Assim, a função utilidade esperada, aplicada no simulador, será:

(15)

$$U(\xi) = \frac{\exp\left[-\frac{(\xi^+ - \xi)}{\rho}\right] - 1}{\exp\left[-\frac{(\xi^+ - \xi^-)}{\rho}\right] - 1}$$

Onde,

$$\xi = [0, \dots, 1]$$

$$\xi^+ = \max(\xi)$$

$$\xi^- = \min(\xi)$$

$$\rho =]0, \dots, 1[$$

Onde ξ representa o atributo com faixa de valores entre 0 e 1, que está sendo considerado, além dos seus maiores e menores níveis, representados respectivamente por ξ^+ e ξ^- . E o parâmetro ρ é o nível de risco atribuído, também normalizado entre 0 e 1.

Explorado o ferramental básico de teoria de leilões, se abordará a seguir uma categoria diferente de leilões, que tem características próprias: os leilões multiunidade ou multiobjeto, com enfoque especial em leilões de preço uniforme e discriminatório.

2.3 Leilões Multiunidade

Um leilão é denominado multiunidade ou multiobjetos, quando mais de uma operação de compra (ou venda) acontece simultaneamente. Toda teoria de leilões é fundamentada em transações, nas quais os licitantes estão interessados em somente um dos k indivisíveis, objetos homogêneos (idênticos) que estão sendo ofertados. A teoria para multiobjetos é bem mais recente¹⁴ e, portanto, escassa. Para que os artefatos matemáticos, desenvolvidos para o caso de demanda por um objeto, possam ser utilizados com êxito, uma das alternativas é aplicar uma curva de demanda que reduza o modelo multiobjeto a um modelo de único objeto.

¹⁴ Há de se fazer uma ressalva que Vickrey também fez estudos no campo de leilões multiunidade, porém que não serão abordados neste trabalho.

Estudar a estrutura do jogo leilão para um objeto, somente é relativamente mais fácil que estudar o jogo leilão para múltiplos objetos. O campo de estudo para o primeiro caso foi bem mais frutífero, ao longo do tempo; porém, em uma série de aplicações práticas, leiloar vários objetos é uma situação mais próxima do mundo real. Os casos de estudos podem ser divididos, ainda, por tipos de objetos (mesmo ou diferente tipo), objetos divisíveis ou não. Cada detalhe no tipo de jogo leilão pode levar a uma série de implicações a serem observadas.

Uma grande diferença é que, em um leilão multiunidade, além do preço, inclui-se a variável quantidade. Ora, se há várias unidades sendo leiloadas, há de se definir uma regra para distribuí-las entre os participantes. Outro ponto peculiar: é de se supor que o valor (no sentido de *payoff*) para uma unidade do objeto que está sendo leiloadado seja um. Para cada nova unidade do objeto, o valor provavelmente não será o valor para uma unidade multiplicado por dois e, sim, terá um incremento marginal. É bem possível, também, que as variações marginais para mais unidades não sejam constantes.

A avaliação de *payoff* de leilões é tema controverso: não há consenso quanto ao entendimento do mesmo. Quando se analisa o caso de um leilão de um único objeto, fica fácil observar que somente um jogador (o vencedor) terá *payoff* não nulo, que corresponde diretamente à curva dada por sua função *payoff*. Ou seja:

$$\pi = \pi(p) \tag{16}$$

No caso de um leilão multiunidade, há mais variáveis envolvidas, como é o caso da quantidade. A função *payoff* terá duas variáveis dependentes:

$$\pi = \pi(p, q) \tag{17}$$

Paralelamente à quantidade, provavelmente ocorrerão características específicas. Por exemplo, uma certa quantidade de unidades, de certo modo, fracionada, pode não fazer sentido para o participante.

Para efeito de melhor entendimento dos retornos dos leilões multiobjetos, suponha-se um leilão com as seguintes características: K objetos idênticos estão sendo leiloados (em especial $K=6$), com N participantes habilitados (em especial $N=3$), sendo que cada um dará um lance para cada objeto.

Os lances são:

(18)

Seja b_j^i o j -ésimo lance para o i -ésimo participante, temos os perfis de estratégias :

$$\begin{aligned} b^1 &= (b_1^1, b_2^1, b_3^1, b_4^1, b_5^1, b_6^1) \\ &= (50, 47, 40, 32, 15, 5) \\ b^2 &= (b_1^2, b_2^2, b_3^2, b_4^2, b_5^2, b_6^2) \\ &= (42, 28, 20, 12, 7, 3) \\ b^3 &= (b_1^3, b_2^3, b_3^3, b_4^3, b_5^3, b_6^3) \\ &= (45, 35, 24, 14, 9, 6) \end{aligned}$$

É útil pensar-se o vetor¹⁵ b^i como a função de demanda inversa do participante i (que se chamará de d^i). Ou seja, se:

(19)

$$b^i : \{1, 2, \dots, K\} \rightarrow R^+$$

então:

(20)

$$\begin{aligned} d^i &: R^+ \rightarrow \{1, 2, \dots, K\}, \text{ onde} \\ d^i(p) &\equiv \max\{k : p \leq b_k^i\} \end{aligned}$$

Com isto, ou seja, para tal exemplo, pode-se desenvolver:

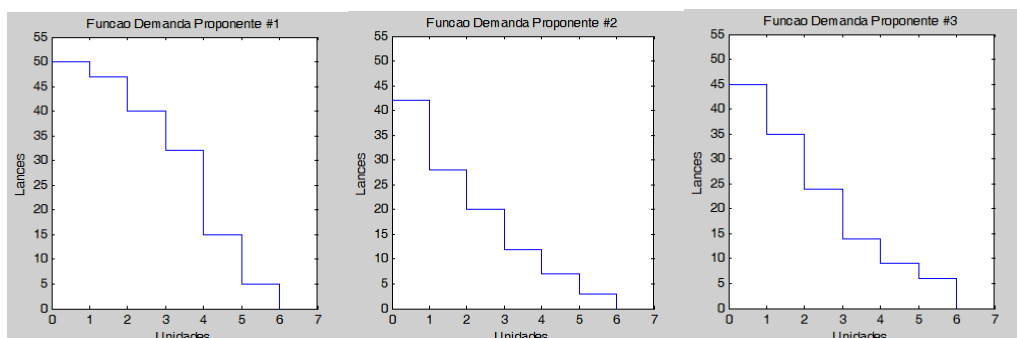
¹⁵ Durante esta demonstração, utilizar-se-á a notação indicial em *superscript*, a fim de denotar o i -ésimo jogador, conforme apresentado pelo autor Krishna, diferente do que foi utilizado nas seções anteriores. Também será utilizada a variável b (sinalizando *bidder* ou licitante) ao invés de s (*strategy* ou estratégia) utilizada nas seções anteriores 1.1 e 1.2.

(21)

$$\begin{aligned}
 d^1(50) &\equiv 1 \\
 \vdots \\
 d^1(48) &\equiv 1 \\
 d^1(47) &\equiv 2 \\
 \vdots \\
 d^1(41) &\equiv 2 \\
 d^1(40) &\equiv 3 \\
 \vdots \\
 d^1(1) &\equiv 6
 \end{aligned}$$

E da mesma forma para os demais participantes. No Gráf. 3, podem-se visualizar as funções de demanda para cada proponente.

Gráfico 3 – Funções de demanda participantes - Leilão Multiunidade



Fonte: Krishna (2002)

Chamar-se-á, agora, de função de demanda agregada, a função δ composta pela união de todas as funções inversas d , isto é:

(22)

$$\begin{aligned}
 \delta &: R^+ \rightarrow \{1, 2, \dots, K\}, \text{ onde} \\
 \delta(p) &\equiv \bigcup_{i=1}^N d^i(p), \text{ tal que } \delta_1 \leq \delta_2 \leq \dots \leq \delta_{N \times K}
 \end{aligned}$$

De forma equivalente:

(23)

$$\beta : \{1, 2, \dots, K\} \rightarrow R^+, \text{ onde}$$

$$\beta(k) \equiv \bigcup_{i=1}^N b^i(k), \text{ tal que } \beta_1 \geq \beta_2 \geq \dots \geq \beta_{N \times K}$$

Para se definir os lances vencedores (para este exemplo, $K=6$), basta tomar-se:

(24)

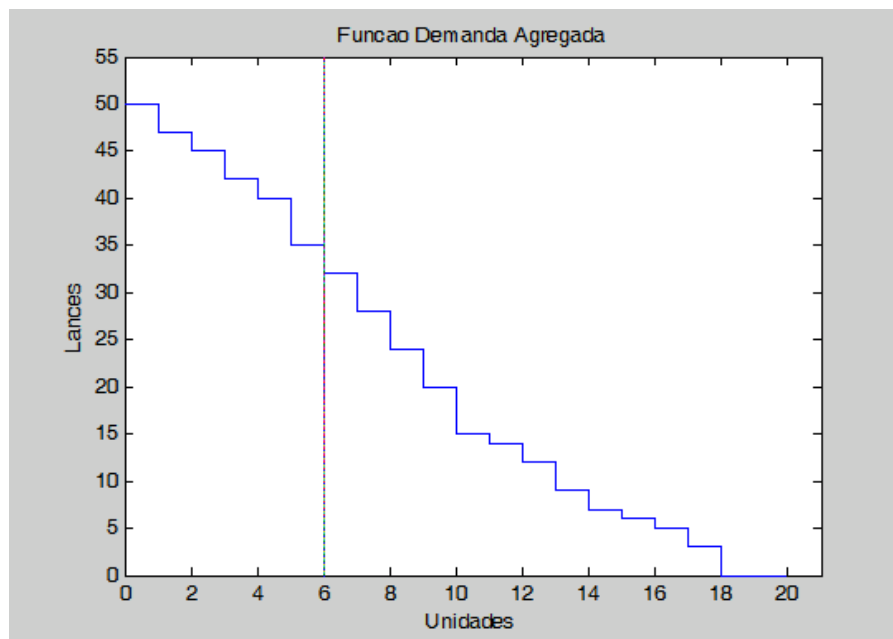
$$\beta_v(k) = \{\beta_k : k \leq K\}, \text{ aplicando}$$

$$\beta_v(6) = (b_1^1, b_2^1, b_1^3, b_1^2, b_3^1, b_2^3)$$

$$= (50, 47, 45, 42, 40, 35)$$

No Gráf. 4, vê-se a apresentação gráfica da função de demanda agregada – repare-se que a linha tracejada em $K=6$ separa, à esquerda, os lances vencedores, dos lances perdedores, à direita.

Gráfico 4 – Função de demanda agregada - Leilão Multiunidade



Fonte: Krishna (2002)

Conceitua-se, agora, a função de fornecimento residual: dado algum preço p , o fornecimento residual para o i -ésimo participante, denotado por $s^i(p)$, é igual ao K (total fornecido) menos a soma da demanda dos outros participantes, não negativa. Isto é:

(25)

$$s^{-i}(p) \equiv \max \left\{ K - \sum_{j \neq i} d^j(p), 0 \right\}$$

É fácil notar que esta função é não decrescente (monótona) em relação ao preço. O ponto de intersecção das curvas de demanda e fornecimento residual será exatamente correspondente ao lance vencedor.

Viu-se algumas ferramentas matemáticas em seu formato discreto que serão úteis na modelagem computacional do simulador. Em seguida se verá um passeio sobre os leilões multiobjeto preço uniforme e discriminatório.

2.3.1 Leilão Preço Uniforme

Este tipo de jogo, leilão multiunidade, se caracteriza pelo estabelecimento de um preço inicial e um incremento para este preço, a cada rodada. Definida uma regra para distribuição das quantidades, de forma que o participante saiba com quantas unidades está participando, na primeira rodada do leilão, todos os participantes concordam com o preço inicial estabelecido para os objetos e estão “dentro” do leilão. Aplica-se o incremento ao preço inicial, e obtém-se, então, um preço corrente. Em seguida, o leiloeiro pergunta quais participantes querem continuar no jogo. Todos aqueles que continuarem aceitam pagar o preço corrente, pela quantidade de objetos envolvidos na negociação. O participante que deixa o jogo leilão terá um *payoff* nulo.

Passa-se então para nova rodada, aplicando-se o incremento ao preço corrente, gerando-se um novo preço corrente, e segue-se, da mesma forma, até que todos os objetos sejam negociados. Conclui-se que todos os objetos foram negociados pelo mesmo preço – o preço corrente de acordo com o qual foi gerado um atendimento da demanda, como pode ser visto no Gráf. 5.

2.3.2 Leilão Discriminatório

No leilão discriminatório, cada participante dá somente um lance, através de um vetor, com os preços que deseja pagar para uma unidade, na primeira posição, e para a segunda unidade, na segunda posição, e assim por diante.

Isto é, para n objetos:

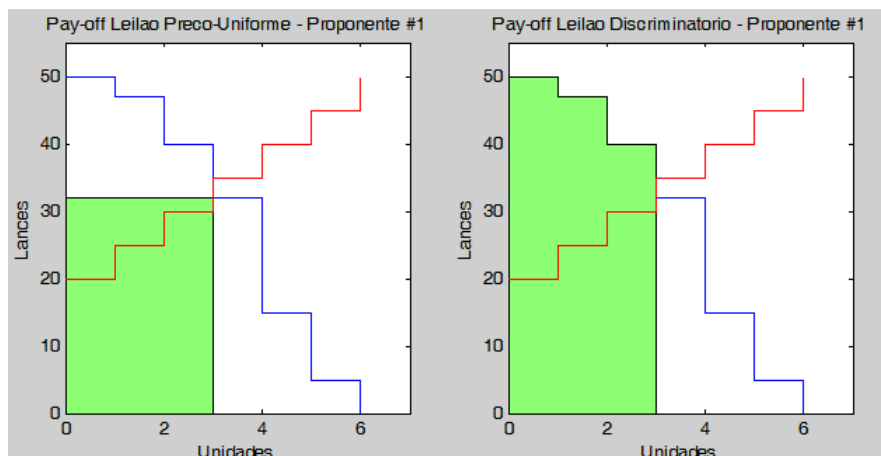
$$s_i = (p_1, p_2, \dots, p_n), \text{ sendo } p_1 \geq p_2 \geq \dots \geq p_n \quad (26)$$

O *payoff* está atrelado à média:

$$\pi(p_j) = \sum_{i=1}^N \frac{p_i}{N} \quad (27)$$

Desta forma, após todos os participantes darem seus lances, o leiloeiro fará um ordenamento de todos os lances, declarando os k ($k \leq n$) primeiros lances vencedores. Os participantes relativos aos k lances deverão pagar o preço de seu lance¹⁶, para adquirir o(s) objeto(s) negociado(s), como pode ser visto de forma comparativa, no Gráf. 5.

Gráfico 5 – Payoffs leilão sobre diferentes tipos de Leilão Multiunidade



Fonte: Krishna (2002)

¹⁶ Por este motivo, também chama-se este leilão de *pay your bid* (pague seu lance).

A primeira vista o leitor pode ser levado a crer que o leilão discriminatório, por trazer maior retorno ao licitante, é melhor (no sentido de ter maior eficiência) que o leilão de preço uniforme. Esta análise não é tão simples quanto o simples comparativo entre estes gráficos.

2.4 Conclusão

O presente capítulo explorou sucintamente o arcabouço teórico relativo à teoria de jogos e à teoria de leilões, esta segunda com enfoque especial em leilões multiunidade, que serão utilizados como base para formulação do simulador.

Viu-se que a função de utilidade dos participantes está diretamente relacionada ao perfil de estratégias utilizado, que é seu vetor de lances. Também se observou que avaliar a eficiência de um leilão não é tarefa trivial – cada caso tem suas especificidades. Além disso, a contribuição de Vickrey foi essencial neste campo de estudos da Economia, de forma a criar bases comparativas de análise.

No próximo capítulo, apresentar-se-á uma rápida avaliação sobre o mercado de energia, e as experiências brasileiras em leilões de energia. Feito isso, serão avaliados alguns resultados dos leilões de geração de energia, realizados entre 2007 e 2010, a fim de inferir as estratégias utilizadas pelos participantes.

3 ECONOMIA DA ENERGIA: Financiamento, Leilões e Estratégias

Neste capítulo se fará uma rápida avaliação do mercado de energia elétrica, até sua atual estrutura no Brasil, com os principais agentes envolvidos. Em seguida, serão analisados os principais elementos para financiamento de projetos de energia, bem como ferramentas financeiras aplicáveis a este mercado.

Segue-se, então, o estudo dos leilões realizados entre 2007 e 2010, observando-se alguns resultados considerados como relevantes, e como estes resultados fazem parte das estratégias dos participantes. Esta avaliação será útil para elaboração dos cenários de simulação, bem como fornecerá entendimento de como aplicar as estratégias, no desenvolvimento da estrutura do algoritmo do simulador que se fará no capítulo seguinte.

3.1 Mercado de Energia Elétrica

A energia é parte essencial do funcionamento da organização econômica e social atual, no mundo. A revolução industrial se deu a partir da utilização não mais do trabalho humano, e sim, de energia consumida por máquinas que transformam o ambiente das firmas pela escala de produção.

O tema da matriz energética é um assunto da pauta de políticas macroeconômicas de qualquer país. De um lado, a demanda das firmas e consumidores, de outro, o fornecimento de energia em quantidade suficiente e localidade adequada, a preços adequados. Por razões de natureza de fornecimento, o mercado de energia elétrica, historicamente, possui falhas ou externalidades próprias. Assim, lança-se mão do poder regulatório do Estado, para correção de tais falhas.

Uma apresentação é feita por Júnior (2007, p.148). Pode-se dizer que o mercado de energia elétrica foi fundado por Thomas Edison, em 21 de outubro de 1879, em Nova Jersey,

quando, através de um dínamo, a primeira lâmpada foi acesa. Dono de um espírito empreendedor ímpar, Edison não somente teve o dom da Ciência como também transformou sua descoberta em negócios que, em questão de poucos anos, se estenderam para a Europa, Canadá, entre outros países.

Existem algumas características que fazem com que o mercado de energia elétrica seja muito diferenciado de outros mercados de energia: os princípios da simultaneidade e da instantaneidade. O primeiro diz que, para cada unidade de energia elétrica consumida, deve existir um equivalente de energia produzida, exceto as perdas por transmissão. O segundo diz que isso deve ocorrer no mesmo instante, isto é, exatamente no mesmo momento. Assim sendo, não existe estoque de energia elétrica. As baterias servem apenas para armazenar uma quantidade ínfima de energia elétrica, para utilização em casos específicos. Isso imprime um novo desafio, que é a distribuição de energia desde sua fonte até o ponto de consumo. Desafio maior ainda, talvez, seja equilibrar a demanda *versus* produção. Como prever que amanhã um chuveiro a mais será instalado em alguma casa no país, e serão necessários mais 5 KWh para o banho da família?

Ao longo dos anos, a evolução da indústria elétrica imprimiu diversos avanços até chegar este novo tempo, em que muitos países, inclusive o Brasil, possuem um complexo sistema interligando todo o seu território, de tal forma que a produção fica localizada em alguns pontos principais, e a distribuição é realizada através de linhas de transmissão de longas distâncias. O mercado de energia possui características intrínsecas de um monopólio natural, dado que vende um produto essencial de difícil estocagem, ocupa localização favorável para produzir, beneficia-se de economia de escala e existe caráter obrigatório no seu fornecimento.

Não só no Brasil, mas em muitos países, a indústria elétrica nasceu e se fortaleceu através da mão do Estado. Conforme a ANEEL (2008), em seu relatório, a indústria de energia elétrica tem seu fortalecimento inicial após a grande depressão (1929), quando ficou clara a fragilidade do modelo agroexportador, e dá-se início ao processo de industrialização do

Brasil. Neste contexto, o país dobra a capacidade de geração instalada, atingindo 780MW¹⁷. Nos anos 40, o país atinge a marca de 1.200MW, com investimentos privados sendo regulados pela taxa de remuneração de investidores, em 10%. Em 1945, é fundada a Companhia Hidrelétrica do São Francisco, durante o governo de Vargas, e o país atinge, em 1951, a marca de 1.900MW.

Apesar do crescimento da oferta de energia, a demanda tem aumento maior e o país enfrenta sua primeira crise energética, em meados da década de 50, em pleno pico de desenvolvimento da indústria secundária brasileira. Com isso, em 1957, o então presidente Juscelino Kubitschek determina a criação de Furnas, no estado de Minas Gerais, onde somente esta usina produziria 1.216MW, sendo criado, em seguida, o Ministério das Minas e Energia (MME).

Furnas inicia a operação em 1963, já sob a coordenação da recém-criada Eletrobrás, que tem como função coordenar as ações de energia elétrica no país, através de subsidiárias regionais. O país atinge capacidade instalada de 5.400MW. Na década de 70, o Brasil ultrapassa a capacidade de 11.400MW, durante o milagre econômico, e os militares negociam e aprovam o projeto da Usina de Itaipu que, sozinha, teria capacidade de 12.600MW, a maior do mundo. Itaipu é inaugurada pelo presidente João Batista Figueiredo.

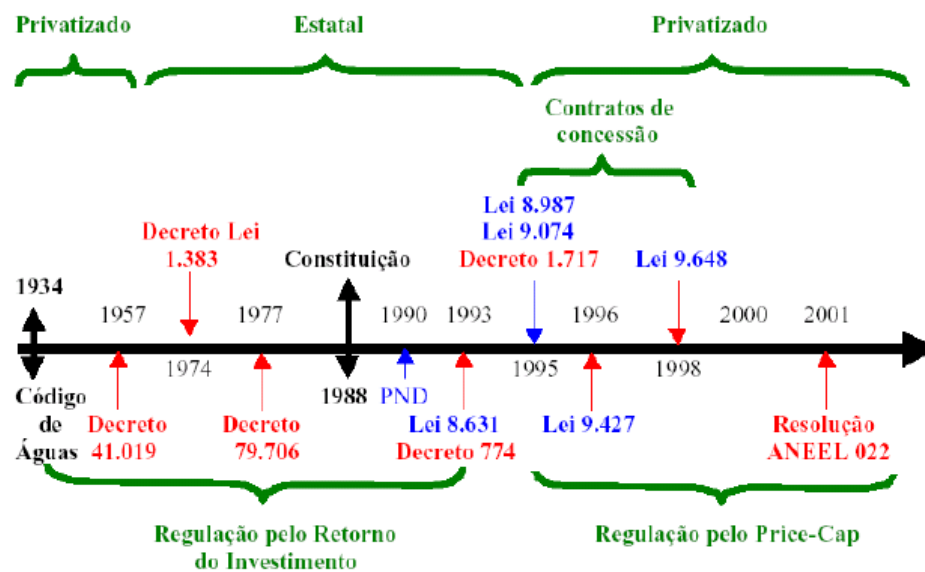
Apesar de todos os esforços, em 1985 o Brasil enfrenta sua segunda crise energética, e põe em prática ações para o racionamento de energia. A Carta Magna brasileira de 1988 declara o poder público como responsável de direito ou por concessão ou permissão, através de licitação, pela prestação de serviços. Foi colocada em prática, em 1995, com a regulamentação feita pelo Congresso Nacional da lei das concessões, (Lei n. 8.987).

No início da década de 90, a capacidade instalada atinge 43.000MW. Em 1993, a Lei Elizeu Rezende põe fim à tarifa única, coloca na pauta a discussão das dívidas bilaterais entre

¹⁷ A principal fonte de consulta para dados históricos de geração de energia elétrica, apresentados nesta seção, foi ANEEL (2008).

empresas do ramo, e o tesouro financia o saneamento das contas. Na segunda metade da década de 90, muda o foco de Estado investidor para Estado regulador, e a desestatização do sistema Eletrobrás toma parte, com várias privatizações ocorrendo. Em 1996, é instituída a ANEEL, com a finalidade de ser a agência reguladora para o mercado de energia elétrica no país. O projeto de reestruturação do setor é posto em prática, em 1998, com a desverticalização do mercado, separando geração, distribuição, transmissão e comercialização. São instituídos o ONS, Operador Nacional do Sistema, e o MAE, Mercado de Atacado de Energia. Iniciam-se os primeiros leilões de energia, sendo que a usina pioneira neste tipo de comercialização foi a Usina Hidrelétrica de Santa Clara, leiloadada em 1998, tendo como vencedora a Construtora Queiroz Galvão.

Figura 6 – Regime de Mercado Energia Elétrica Brasil – 1934 - 2001



Fonte: Moritz (2001)

Moritz (2001, p. 41) apresenta uma linha do tempo com o resumo de marcos regulatórios entre 1934 e 2001 (Fig. 6). Em 2001, o “apagão” traz à tona, novamente, a incapacidade do Brasil, referente à falta de um planejamento de longo prazo, com a terceira crise energética. Novamente, o setor é reestruturado e, em 2004, é fundada a EPE, Empresa de Pesquisa Energética, filiada ao MME, com o fim de ser a instituição que irá pesquisar e planejar o tema no país. O MAE é então substituído pela CCEE, a Câmara de

Comercialização de Energia Elétrica. O Brasil chega a 2007 com capacidade instalada de 100.352,4 MW.

Tabela 2 – Fases Recentes Mercado Energia Elétrica Brasil

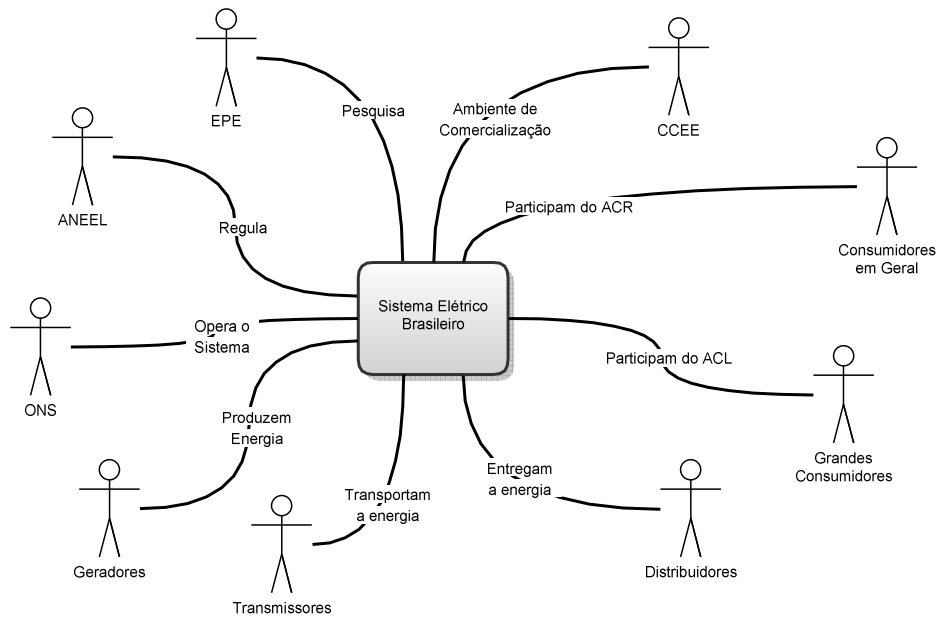
Características	1998-2004	2004-Atual
Ambiente de Comercialização	MAE	CCEE
Regulação	ANEEL	ANEEL
Planejamento e Pesquisa	MME ¹⁸	EPE

Fonte: elaborada pelo autor

Na história recente do mercado de energia elétrica no Brasil, percebem-se duas fases distintas, como se pode observar na Tab. 2. Com a instituição da EPE, o governo cria um órgão específico para planejamento do setor elétrico. Com efeito, o planejamento energético é tarefa complexa, agravada pelas características do país – dimensões continentais, carência de planejamento de longo prazo, setor de infraestrutura com déficit. Tem-se, então, a instituição do planejamento energético de longo prazo. O ambiente atual pode ser vislumbrado na Fig.7.

¹⁸ A responsabilidade por planejamento energético é normalmente atribuída ao governo, que atua através de ministérios.

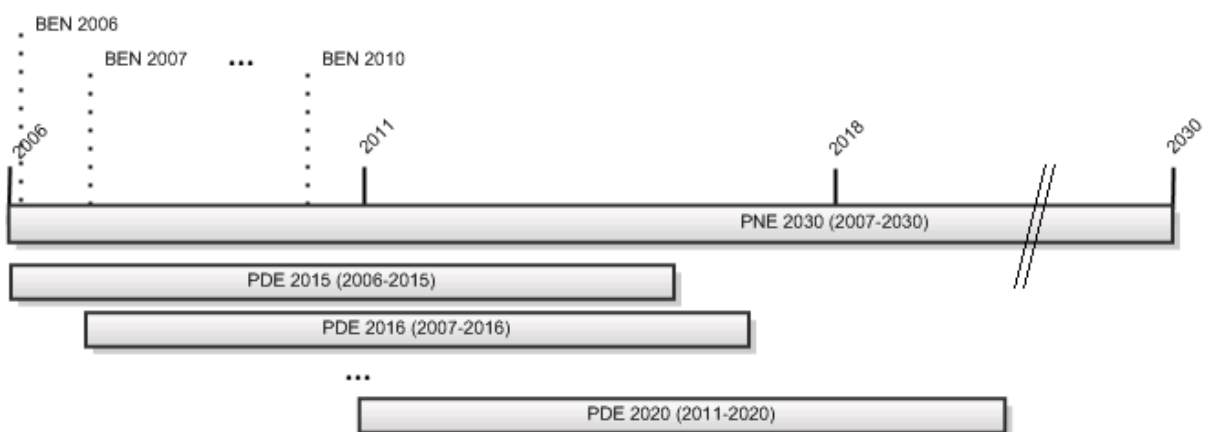
Figura 7 – Sistema Elétrico Brasileiro – Agentes



Fonte: elaborada pelo autor

O planejamento energético de longo prazo, realizado em 2006, teve como alvo 2030, chamado PNE2030. Para detalhar este macroplano, há um planejamento decenal realizado e revisado anualmente, chamado de PDE-AAAA (com horizonte de planejamento de 10 anos, tendo como base AAAA, o ano referência da realização), com base no balanço anual, chamado BEN-BBBB (Balanço Energético Nacional, onde BBBB é o ano referência da realização do balanço). (Fig. 8).

Figura 8 – Planejamento Energético Brasileiro Longo Prazo



Fonte: elaborada pelo autor

Podem-se avaliar os documentos da seguinte forma: o PNE2030, plano estratégico de longo prazo, fornece as diretrizes de análise e planejamento, servindo como norteador da matriz energética brasileira. Já o PDE, plano decenal de energia, revisa as projeções para cenários macroeconômicos, demografia e análises setoriais, baseado no BEN, balanço energético nacional daquele ano, projetando os próximos 10 anos. É então recalculada a demanda de energia, com base nestas projeções, avaliada a oferta disponível para atendimento da demanda, e projetada oferta compatível, em geral, com cenário de até 5 anos, conforme o PDE (2019).

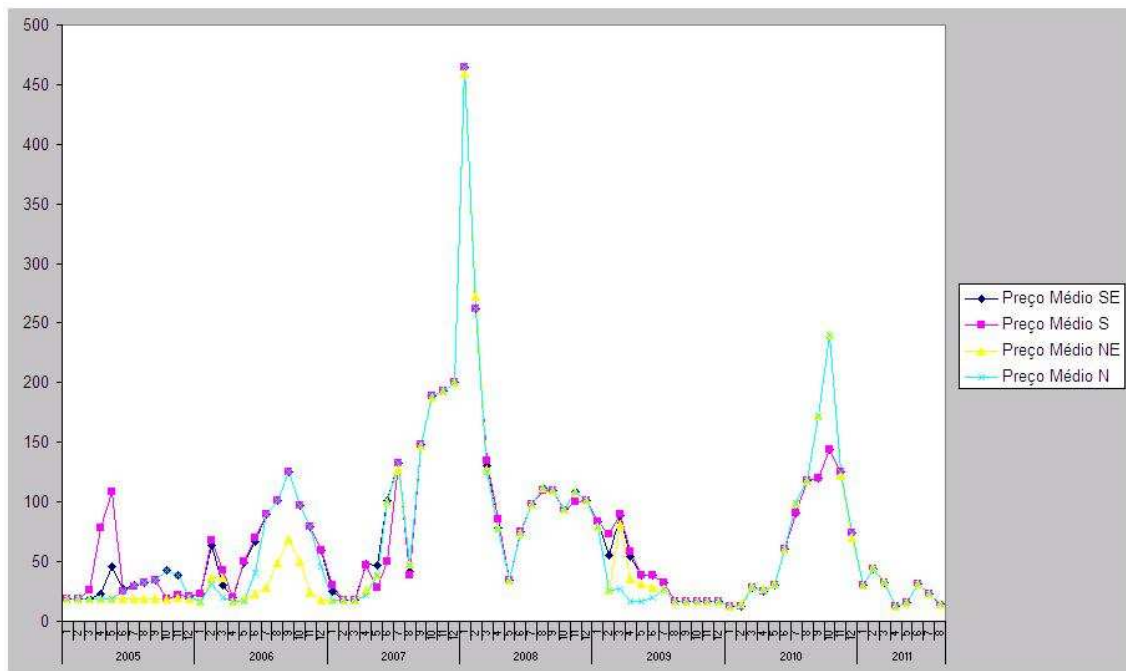
Conforme aponta Rodrigues (2007, p.26), com a lei 10.848, de 2004, foram instituídos os mercados de curto e de longo prazos, como parte do aparato que estabeleceu o novo modelo energético do Brasil. Do Ambiente de Contratação Livre (ACL) fazem parte os geradores, comercializadores, importadores e exportadores de energia e consumidores livres (grandes consumidores). Ele visa, portanto, atender uma demanda de ajuste de curto prazo e diz respeito a um ambiente de livre flutuação de preços nas negociações de compra e venda, bilaterais. Observa-se, portanto, uma alta volatilidade de preços, como pode ser observado ao se traçar o gráfico de preço médio da energia¹⁹ comercializada no ACL, no Gráf. 9.

Neste gráfico, podem-se observar 4 séries, que dizem respeito ao preço nos submercados representados pelas regiões Sul (S), Sudeste (SE²⁰), Norte (N) e Nordeste (NE). É interessante notar as variações sazonais específicas de cada região²¹.

¹⁹ A CCEE publica semanalmente o preço médio (R\$/MWh), calculado através da metodologia Preço de Liquidação de Diferenças (ou simplesmente PLD).

²⁰ A Região Centro-Oeste (CO) faz parte do submercado Sudeste (SE).

²¹ Por exemplo, no início de 2005, houve uma forte seca nos estados da Região Sul, onde a série demonstra uma elevação de preço.

Gráfico 9 – Séries de Preço Médio de energia no ACL

Fonte: elaborado pelo autor com base em CCEE

Já no Ambiente de Contratação Regulada (ACR), negociam-se contratos a termo (futuros), derivados dos leilões de geração de energia, do qual participam agentes de geração e de distribuição de energia (estes chamados de consumidores “cativos”). Neste mercado, os preços são negociados no ato do leilão e seguem condições preestabelecidas de reajustes.

A contabilização das comercializações nos dois ambientes, feita pela CCEE, o chamado mercado SPOT, garante que oscilações de curto prazo e imperfeições de mercado mitiguem a variação do preço de energia. É fácil observar-se que a comercialização no ACR provê um grau de risco menor que no ACL.

3.2 Financiamento e Finanças em Projetos de Energia

Entende-se como o Valor Presente Líquido (VPL²²) a ferramenta usual na análise de investimentos, e a Taxa Interna de Retorno (TIR²³) como indicador de apoio na comparação de rentabilidade de projetos. Utilizar-se-á, neste trabalho, o VPL como ferramenta de tomada de decisão de investimentos, que é expresso através da seguinte fórmula:

(28)

$$VPL = \sum_{i=1}^j \frac{RF_i}{(1 + tma)^i} - VP$$

Onde:

RF_i = fluxo de caixa no período i (receitas – despesas)

tma = taxa (de juros) mínima de atratividade (também chamada de tma ou custo de oportunidade)

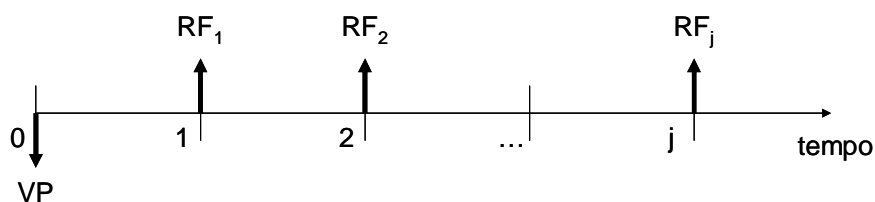
VP = valor presente do investimento no período 0.

j = prazo do investimento

Assim, para se calcular o valor presente líquido de um projeto de investimento, é necessário conhecer o fluxo de caixa do mesmo, a taxa de juros mínima de atratividade e o valor do investimento inicial. O diagrama da Fig.10 mostra o fluxo de caixa ao longo do tempo.

²² O VPL é um cálculo financeiro efetuado para comparar investimentos ao longo do tempo, dada uma determinada taxa de juros de comparação, tal que o valor total do fluxo de caixa é representado como um valor monetário no tempo atual – o valor presente líquido.

²³ A TIR é um número percentual que visa expressar qual é o retorno de um fluxo de caixa, dado um investimento. Devido a algumas características de cálculo, a TIR é uma taxa de apoio em comparação de investimentos.

Figura 10 – Fluxo de Caixa do VPL

Fonte: elaborada pelo autor

É natural que, para a elaboração de uma projeção de fluxo de caixa, sejam adotadas diversas premissas, considerando-se diversas variáveis endógenas e muitas delas exógenas (como variáveis macroeconômicas). Por exemplo, o custo de financiamento adotado em um fluxo de caixa, projetado antes da crise econômica mundial de setembro de 2008, tende a ter sido muito mais otimista que nos meses que sucederam à crise. A incerteza, portanto, faz parte do estudo de viabilidade de um projeto, e é observada através das análises de cenários e de sensibilidade.

A análise de cenários consiste na criação de um conjunto de variáveis prováveis futuras (os cenários), em geral ao menos um pessimista, um otimista e, o mais provável, um cenário intermediário. Com isso, pode-se simular “no papel” o pior (e o melhor) que se pode esperar de um projeto de investimento, e criar mecanismos para mitigação de riscos, através de métricas objetivas. Já quando se faz a análise de sensibilidade, busca-se através da variação de parâmetros preestabelecidos pelas premissas (e cenários), verificando-se as áreas onde o risco de previsão é mais grave (ou seja, pode causar o maior impacto, se mal-avaliado).

Toda empresa precisa de algum tipo de financiamento. Seja de capital próprio do empresário investidor, como é o caso de uma carrocinha de cachorro-quente, seja de capital tomado junto a terceiros, investidores, entre outras fontes. A decisão de utilização de uma fonte de capital é fortemente baseada em análises financeiras, pois há um custo para utilização do capital. O endividamento é um fator crucial para o desempenho das empresas, e ele está diretamente ligado às decisões corporativas de investimentos.

Em geral, o financiamento das empresas é caracterizado como *corporate finance*. Nesta modalidade, a empresa apresenta alguma garantia (que pode ser um imóvel, um fluxo de recebíveis, etc.), como forma de lastro para a operação, e toma um mútuo (empréstimo). A esta operação estão relacionadas diversas variáveis, que dizem respeito ao risco de pagamento do empréstimo, e a este risco está relacionada diretamente a taxa de remuneração de capital – afinal, o risco de inadimplência é um dos principais componentes da remuneração do capital para o credor.

Um dos desafios dos administradores financeiros é equilibrar o ponto ótimo entre utilização de capital próprio e capital de terceiros, pois o endividamento afeta diretamente o desempenho das corporações, conforme Borges (1998).

Uma alternativa de investimento que vem sendo utilizada recentemente é o mecanismo de *project finance*. Ele é um mecanismo financeiro mais complexo, por meio do qual se constitui uma entidade jurídica específica para o projeto, sendo que a corporação entra como sócia desta nova entidade. Adicionalmente, dilui-se o risco através da adição de mais sócios que têm interesses relacionados e estão dispostos à diluição de riscos. Diferentemente do *corporate finance*, no *project finance* as garantias dizem respeito ao próprio fluxo de caixa do projeto – isto é, as próprias receitas futuras advindas do investimento e geração de caixa do projeto é que servirão de lastro.

Como expõe Fight (2006, p. 107), o *project finance* propicia o financiamento de grandes obras e projetos, com longos prazos (em geral maiores que 15 anos) e, por esta característica, em geral são aplicáveis a projetos públicos e governamentais. O que se observa numa operação deste tipo é a complexidade na análise e mitigação de riscos associados a um projeto – ora, se a garantia são as receitas futuras a serem geradas pelo projeto, é de se compreender que a capacidade de execução do projeto faz parte da estruturação da operação. Bonomi e Malvessi (2008) observam, a partir de sua experiência na aplicação deste tipo de ferramenta, que empreendimentos não menores que USD 150 milhões são candidatos mais aptos. Por outro lado, devido ao grande esforço necessário para estruturar este tipo de operação, onde é necessário um conjunto de informações de especialistas no negócio que está

sendo empreendido, sob diversos pontos de vista, entende-se que a chance de insucesso seja muito baixa. Há, portanto, pontos positivos e pontos negativos na utilização desta ferramenta, como se pode ver na Tab. 3.

Tabela 3 - *Project Finance* – Vantagens e Desvantagens

Vantagens	Desvantagens
Possibilidade de financiamento com recursos limitados	Taxas de juros e custos de transação tendem a ser maiores
Manutenção de performance das corporações sócias	Necessidade, supervisão e governança mais próximas dos sócios
Com isto, não há restrição para outras operações	Necessidade de utilização de mais seguros
Tratamento desvinculado de impostos	Aumento de risco das corporações
Diversificação de riscos de várias origens	Complexidade na alocação de riscos

Fonte: elaborada pelo autor

Juridicamente, a constituição de uma sociedade de propósito específico (SPE) é a ferramenta para criação da nova entidade jurídica, que servirá para estruturar o projeto de investimento. Uma das principais instituições de financiamento no Brasil, o BNDES, possui uma linha de financiamento específica para este tipo de operação, onde se podem verificar as seguintes características, que devem ser satisfeitas para obtenção deste tipo de financiamento: constituição da SPE; fluxo de caixa adequado a um nível de garantia de 120 a 130% do principal envolvido; capital mínimo de 20% dos acionistas, e estrutura de mitigação de risco adequada (complexa e detalhada).

Fortuna (2005, p. 277) mostra, ainda, que todo *project finance* deve ter a figura de um *sponsor* (líder do empreendimento) e podem participar ainda do arranjo contratual as agências de crédito multilaterais, governos, bancos de desenvolvimento, bancos públicos e privados, fundos de pensão, seguradoras, demais instituições financeiras e não financeiras. Desta forma, há grande possibilidade de diluição de risco. Em especial, para projetos na área de energia, devido às características dos mesmos, o *project finance* vem sendo muito aplicado,

especialmente no Brasil. Isto pode ser constatado através dos trabalhos de Santos (2003) e Faria (2003), respectivamente, para projetos de pequeno e grande porte.

A fim de mitigar riscos, como conclui Rodrigues (2007, p. 138), utilizam-se os chamados “derivativos”, aplicáveis a contratos de energia. Felizatti (2008, p. 68) mostra em seus estudos, entre outras coisas, que os contratos negociados no ACL já embutem cláusulas que possibilitam a formação de tais ferramentas financeiras de mitigação de risco.

Derivativo, como o próprio nome sugere, é um contrato derivado de um ativo real, negociado a futuro (mercado a termo), onde ambas as partes acordam sobre os preços esperados. À parte que se compromete a efetuar a compra, dá-se a denominação de “comprado” e, à parte que se compromete a vender, “vendido”. Participantes deste mercado, os vendedores atuam como *hedge*, ente que procura proteção quanto a variações do preço SPOT. Podem atuar, também, os “especuladores”, que apostam em possíveis variações de mercado e entram neste para aproveitar estas oportunidades. A princípio, neste mercado, não há espaço para “arbitragem”, tendo em vista que, dadas as características físicas do produto eletricidade, não é possível transitá-la entre mercados diferentes – exceto em condições muito específicas. O funcionamento do *hedge* pode ser entendido com o seguinte exemplo:

Considere-se a companhia que sabe que receberá \$10.000 para cada um centavo de aumento no preço da commodity pelos próximos três meses e perderá \$10.000 para cada um centavo de baixa no preço durante o mesmo período. Para fazer *hedge*, o tesoureiro deve tomar posição vendida em futuros que sejam apropriadas para eliminar esse risco. A posição futura deve causar perda de \$10.000 para cada centavo de alta no preço durante os próximos três meses e ganho de \$10.000 para cada centavo de queda no preço durante esse período. Se o preço subir, a perda na posição futura será compensada pelo ganho. (Hull, 2009, p. 78)

Com isto se pode notar que o funcionamento do *hedge* é útil para ambas as partes, isto é o vendedor e o comprador. No caso do presente estudo, o comprador é um grande consumidor que pode ter de arcar com a volatilidade de preço da energia, durante período de pico, como, por exemplo, sazonalidade horária, sazonalidade de época do ano.

A eletricidade possui características incomuns (as quais já foram assinaladas aqui), como a característica da simultaneidade e instantaneidade. Com base em dados do mercado americano de energia, estima-se que a volatilidade anual do preço do petróleo pode ficar em cerca de 20%, a do gás natural, 40% (maior dificuldade em estocagem e transporte), e a de eletricidade entre 100% e 200%. Pode-se, então, inferir que contratos deste tipo servem tanto para aplicação de venda de energia gerada no mercado futuro do ACL, como também para contratos futuros de compra de combustível para usinas térmicas (gás natural e óleo).

Imagine-se agora que um grande gerador possua um conjunto de usinas hidrelétricas, situadas em uma grande região, assolada por um longo período de secas. Supõe-se que, se os lagos que abastecem as usinas não têm grande capacidade de armazenamento, o produtor pode pecar pela falta de oferta de energia. Para redução de riscos relacionados ao clima, há produtos derivativos de clima, que são negociados, inclusive, em balcão. O primeiro ambiente desse modelo de negociações é a bolsa de clima de Chicago, que o iniciou em setembro de 1999, conforme aponta Thompson (2006, p. 22). Com o crescente volume de energia negociado no ACL – estima-se que cerca de 25% do mercado brasileiro de energia seja comercializado neste ambiente.

Quando se trata de grandes projetos de investimentos, um dos pontos em questão é a necessidade de investimentos da máquina do governo: o financiamento privado é uma alternativa viável, aceita pelo investidor, mediante uma taxa de retorno atrativa e certa segurança na aplicação do recurso, devido ao tempo necessário para rentabilidade. Sendo assim, o artefato normalmente utilizado é um contrato de concessão de longo prazo, com algumas condições preestabelecidas, e algum risco do investidor, inerente ao serviço que está sendo concessionado.

Ao decidir tornar-se um concessionário, o investidor está assumindo, portanto, a imobilização de recursos financeiros, com baixa liquidez. Se ocorrer o inverso, ou seja, se o investidor aportar recurso somente para adquirir a licença inicial no leilão, realizar ou não parte do investimento inicial, retirar ou não parte do retorno, e posteriormente repassar o

negócio a outro investidor, poderá o primeiro atuar de forma especulativa, não atingindo, portanto, a maximização do bem-estar pretendida pelo governo.

Pensando desta forma, que este tipo de investimento é de retorno de longo prazo, porém, com taxa de retorno atrativa, o investidor, provavelmente, deverá montar uma estratégia que inclua uma renda principal. Isto caracterizará o investimento na concessão como uma diversificação em seu portfólio de investimentos, com perfil diferenciado.

Um leilão pode ser modelado como um jogo, no sentido da teoria econômica de jogos, em que os participantes são os licitantes (investidores candidatos a futuros concessionários). O desejo do vendedor (governo) é maximizar o bem-estar, e o desejo do licitante é maximizar seu próprio *payoff*. A análise do conjunto de estratégias do investidor se dará baseada em um potencial conjunto de informações que este assumir; porém, sendo o leilão, em geral, um jogo de informação incompleta, deve-se assumir possível assimetria de informação.

O financiamento de projetos de energia é parte fundamental do estabelecimento das estratégias dos proponentes. Ora, a minimização dos custos de implantação e operação, dado um *mark-up* entendido como de mercado, pode auxiliar em um lance de valor baixo, aumentando a chance de o licitante ser o vencedor do leilão. Como já se viu, anteriormente, dificilmente o investidor privado irá aplicar a totalidade de recursos próprios. A diluição do montante total de investimentos entre recursos próprios, fornecedores, instituições financiadoras, bancos, garantias, entre outros mecanismos financeiros, fará parte de uma estratégia financeira que, se considerado o longo prazo do investimento, pode auxiliar na formatação do lance vencedor.

Uma estratégia de ganho de economia em escala, segundo Besanko (2006, p. 96), pode ser utilizada, sendo que o tamanho do grupo de investimentos pode fazer diluir custos de arrancada, com isto reduzindo o valor do lance, aproximando o licitante da vitória.

Como se viu no capítulo 1, um *payoff* de leilão é expresso como o retorno, da seguinte forma:

$$\Pi_i = \begin{cases} \min_{i \neq j} b_j - x_i & | b_i \geq \max_{i \neq j} b_j \\ 0 & | b_i < \max_{i \neq j} b_j \end{cases} \quad (29)$$

Onde b_i é o valor da proposta (lance) do jogador i , neste caso considerado o leilão de menor preço (por isso a função de minimização), b_j é o valor do lance vencedor, e Π_i será o *payoff* do jogador i .

Para analisar a formatação econômica das propostas, utilizou-se como base o valor do lance, que é o preço do megawatt (*PMW*) a ser comercializado. A composição deste preço será o custo de produção por megawatt (*CMW*), acrescido do lucro esperado (*LMW*). Ora, o custo de produção deverá ter diluído o investimento total (I), além dos custos financeiros (Cf) – como depreciações de investimentos, impostos e juros, custos operacionais (Co) por unidade de tempo de geração (j), bem como a quantidade de megawatts gerada como quociente (Q_{ger}).

Isto é:

$$\begin{aligned} PMW &= CMW + LMW \\ CMW &= I + \frac{j \cdot (Cf + Co)}{Q_{ger}} \end{aligned} \quad (30)$$

Onde:

PMW = Preço do megawatt ofertado no leilão;

LMW = Lucro pretendido por megawatt;

CMW = Custo total do megawatt;

I = Investimento total;

j = Tempo de contrato de concessão;

Co = Custo operacional por unidade de tempo de concessão;

C_f = Custo financeiro por unidade de tempo de concessão;

Q_{ger} = Quantidade de megawatt provisionada para geração, por unidade de tempo de concessão.

Considerando-se a função *payoff* Π_i , entende-se, para o caso do leilão de energia, o lance (b) como sendo o preço do megawatt a ser contratado, e a função residual (x) como sendo o custo do megawatt. Para efeito de elaboração do modelo, o *payoff* será o lucro por megawatt. Desta forma, aplicando-se a equação (29) na equação (30), tem-se que o *payoff* para o participante j (o vencedor), é dado por:

$$\begin{aligned} \Pi_i &= \max(LMW) \\ \Pi_i &= \max(\min(PMW) - x_i) \end{aligned} \quad (31)$$

A função *payoff*, neste caso, é maximizada pela aplicação inerente do investidor (desejo de maximizar seu *payoff*). Sabe-se, então, que o menor *PMW* é que terá *payoff* não nulo, supondo-se, a partir daí, que a primeira missão seja a de garantir um preço baixo. Mas como a composição do preço é a soma do custo e lucro, e como se deseja maximizar o lucro, então o correto é minimizar o custo. Analisar-se-á, assim, a composição do custo, utilizando-se a equação (31):

$$\min(CMW) = \min\left(I + \frac{j \cdot (C_f + C_o)}{Q_{ger}}\right) \quad (32)$$

Ora, a quantidade gerada é pré-contratada e não varia em relação aos competidores. Também o prazo (j) é fixado por edital. Ao se assumir, portanto, Q_{ger} e j como constantes, tem-se:

$$\begin{aligned} \min(CMW) &= \min(I) + \frac{j}{Q_{ger}} \cdot \min(C_f + C_o) \\ \min(CMW) &= \min(I) + \frac{j}{Q_{ger}} \cdot [\min(C_f) + \min(C_o)] \end{aligned} \quad (33)$$

Ou seja, para se maximizar o custo, deve-se minimizar o investimento inicial, bem como custos financeiros e custos operacionais. Neste trabalho, procuram-se entender as

diferenças estratégicas entre as propostas dos diferentes jogadores. Assim, buscam-se captar as maiores diferenças entre elas, que sejam significantes. É fácil verificar que os custos financeiros são similares e diretamente proporcionais ao I (as diferenças comparativas já estão captadas em $\min(I)$). Ou seja:

$$\Delta_{j \neq i} C_f \ll \Delta_{j \neq i} I \quad (34)$$

Assim, pode-se considerar, para efeitos estratégicos, que C_f também é constante, e fica-se com:

$$\min(CMW) = \min(I) + \frac{j}{Q_{ger}} \cdot [C_f + \min(C_o)] \quad (35)$$

O diferencial estratégico aqui apresentado é dado, portanto, na estratégia de investimentos e estratégia de custos. Pode-se enxergar esta equação, do ponto de vista do investidor, que analisa o valor agregado do negócio, ou seja, o VPL. Aplicando-se na equação (28), a função de minimização, obtém-se:

$$VPL = \sum \frac{PMW \cdot Q_{GER} - [C_f + \min(C_o)]}{(1 + i\%)^j} - \min(I) \quad (36)$$

A estratégia de custo é centrada no elemento $\min(C_o)$. Sabe-se que os custos operacionais são compostos de custos fixos e variáveis. Para o caso de custos variáveis, há um fator diferencial importante nos empreendimentos do tipo UTE, que é o combustível para geração. Todos os demais empreendimentos utilizam elementos naturais como combustível (vento, movimento da água, luz solar, etc.). Ou seja, além das estratégias tradicionais de redução de custos, como minimização de perdas, redução de desperdícios, este talvez seja o fator de maior preponderância para análise de uma UTE.

A estratégia financeira é de grande impacto no elemento $\min(I)$, e se dá, principalmente, através da estratégia de financiamento, tal como avaliado anteriormente, através da ferramenta *project finance*. Já se sabe que esta operação de financiamento não se encarrega do endividamento da corporação, e não está limitada ao nível atual de endividamento da mesma. Ou seja, mesmo corporações que estão com nível financeiro

estagnado têm condições de participar de leilões como investidoras. Assim, talvez o grande desafio das corporações seja a articulação para a diversificação de portfólio, junto a seus acionistas e demais sócios do investimento.

Além disso, será necessário um investimento de profissionais com conhecimento específico para estudar todas as garantias, contratos, seguros e demais aparatos jurídico-econômicos para estruturar a operação.

3.3 Leilões Brasileiros de Energia

Com a introdução da Lei de Concessões, o país passa a adotar a sistemática de leilões para transferência de concessões públicas a firmas de mercado, a partir de 1998, conforme relato da ANEEL (2008). Ocorreram diversos leilões a partir daí, nas duas fases (98-2004, e 2004-atual, ver Tab. 2). São utilizados leilões para concessionários de geração de energia e também de transmissores. Vão-se estudar aqui os leilões para geração de energia, realizados a partir de 2005²⁴.

A lei 10.848 dispõe ainda sobre a temporalidade no fornecimento de energia e sua fonte geradora. Classifica-se em energia nova aquela proveniente de novos empreendimentos no ambiente ACR, tendo, em geral, início de fornecimento com maior prazo (em geral 3 ou 5 anos). Já leilões de energia existente dizem respeito a início de fornecimento no ano seguinte àquele da celebração do contrato gerado pelo leilão, com energia proveniente de empreendimentos já existentes.

Uma observação importante é que, em leilões de energia, existe a característica de leilão de compra, *procurement* de energia, e não de venda. Ou seja, os lances feitos pelos

²⁴ Os leilões de transmissão, de acordo com os realizados mais recentemente (ANEEL, 2011), são do tipo discriminatório fechado, com “gatilho” de 5% para entrada em rodadas simples de leilão aberto de preço descendente.

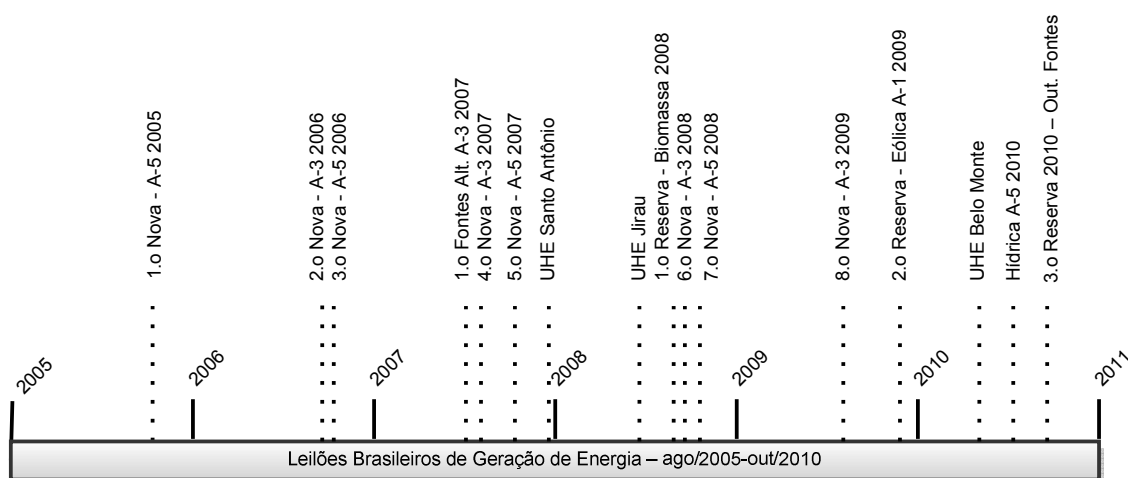
licitantes (potenciais vendedores) são ofertas de preços de venda de energia, e o Estado é o comprador. Em termos teóricos, isto significa simples adaptações nos modelos para formalização desta característica.

Os projetos de investimentos encontrados durante a fase de pesquisa, bem como os demais que podem ser encontrados em ANEEL e EPE, em geral, são classificados de acordo com a natureza de fornecimento de energia. As usinas eólicas (EOL) têm como característica a geração feita a partir de captação da energia dos ventos, por meio de hélices acopladas a turbinas que transformam a energia mecânica em elétrica. Através da captação de energia solar, por meio de painéis fotovoltaicos, as usinas com fontes alternativas de energia são categorizadas como SOL, transformando energia térmica em energia elétrica.

Já nas usinas hidrelétricas, a geração é feita a partir do assoreamento de rios, com construção de barragens, canalizando o duto através de turbinas, que transformam a energia mecânica em elétrica. Denominam-se UHE as usinas que apresentam capacidade acima de 30MW. Com mesma natureza de geração, as pequenas centrais hidrelétricas (PCH) diferem pelo tamanho (capacidade de geração entre 1 e 30 MW, e reservatório inferior a 3km²). Com porte bem reduzido, as centrais geradoras hidrelétricas (CGH) são usinas com capacidade até 1MW.

Caracterizadas como usinas que produzem energia “suja”, isto é, que poluem o meio ambiente, nas usinas termelétricas (UTE), a geração é feita a partir de processo de queima de combustível fóssil (bagaço de cana, óleo, etc.), com posterior aquecimento de caldeira e transformação da energia térmica em mecânica (vapor), e posteriormente em elétrica. Já as usinas termonucleares (UTN) têm sua geração feita a partir de reações nucleares, que dissipam calor, com posterior aquecimento de caldeira, e transformação da energia térmica em mecânica e, posteriormente, em energia elétrica.

Figura 11 – Leilões Brasileiros Geração Energia ago/2005-out/2010



Fonte: elaborada pelo autor

A seguir, analisam-se os resultados dos leilões realizados a partir de 2007, com o objetivo de avaliar e compreender as estratégias utilizadas pelos participantes durante os certames. Para isso, serão utilizados os resultados publicados pelo Instituto Acende (2007, 2008, 2009 e 2010) sobre cada leilão, em sua análise denominada “Pós-leilão”. Uma linha do tempo dos leilões, a partir de 2005, pode ser vista na Fig. 11.

Inicia-se pela análise do 1º Leilão de Energia de Fontes Alternativas, realizado no dia 18 de junho de 2007, com os seguintes resultados avaliados:

Os resultados do primeiro leilão de energia de fontes alternativas foram decepcionantes. Até mesmo representantes do governo federal indicaram que pouca energia foi negociada, colocando em dúvida a utilidade de um leilão separado para as fontes alternativas. A geração eólica, por biomassa e PCHs, é mais cara que a geração tradicional, em especial em função da escala das unidades produtivas. Para que tais empreendimentos atraíam investidores privados e sejam viabilizados, com efeitos positivos para a diversificação da matriz energética nacional, é necessário um retorno compatível. Se o objetivo é o de contratar mais energia, a lógica de restringir elevações de preços, que vem direcionando todos os leilões de energia, deve ser alterada.

Em primeiro lugar, é fundamental que a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e o MME façam uma reavaliação dos parâmetros financeiros utilizados para o cálculo dos preços teto, aproximando-os da realidade do mercado. Em segundo lugar, é vital uma reavaliação na metodologia dos leilões, de forma que eles sinalizem mais a escassez de energia, reflitam preços ascendentes, e não apenas evidenciem o desinteresse do investidor privado, como ocorreu no certame de energia alternativa. (Acende, 2007a)

Aparentemente, a distribuição de fontes da matriz energética não é o primeiro tema de preocupação do investidor e nota-se, nesta época, uma falta de competitividade deste tipo de tecnologia para geração energética. No entanto, há um movimento de mercado, que gera avaliação positiva por parte do grande público, para as empresas que têm a consciência ambiental. Outrossim, deve-se assinalar uma característica dos leilões nos anos que se seguiram, de outras fontes ou energia eólica, os quais demonstraram o potencial de crescimento deste tipo de fonte. Várias iniciativas²⁵ apareceram posteriormente no mercado, o que demonstra um grau de aprendizagem e organização do setor.

Ainda em 2007, foi realizado o 4º Leilão de Energia Nova, do tipo A-3, em 26/07/2007, com resultados duvidosos quanto à formatação e ao estabelecimento de parâmetros do leilão, como pode ser visto em Acende:

Os preços teto dos certames foram de R\$ 124/MWh e R\$ 140/MWh, para a geração hidrelétrica e termelétrica, respectivamente. Em função do baixo preço teto fixado para a geração hidrelétrica, não foram oferecidos sequer lances para esse certame. [...] O resultado do 4º leilão consolida uma tendência já exibida nos certames passados de a matriz elétrica brasileira tornar-se cada vez mais suja e mais cara a cada leilão. [...] dos 7.376 MW med negociados nos quatro leilões, 65% tem origem térmica. Fato ainda mais preocupante neste último leilão é que as usinas contratadas são a óleo combustível, estando entre as mais sujas. Assim, o Brasil segue caminho inverso dos países desenvolvidos, que buscam aumentar a participação de fontes mais limpas em suas matrizes de geração elétrica. (Acende, 2007b)

Novamente, neste leilão, nota-se uma preocupação ambiental com o tipo de usinas que foram as arrematadoras do leilão. A preocupação é o não privilégio das usinas hidrelétricas, sabidamente onde o Brasil possui ainda extenso potencial, entre outras fontes.

Parece claro que o atendimento da demanda de compra de energia é fator que irá contribuir para a eficiência de mercado do leilão. Isto implicará uma maior concorrência e, portanto, preços menores. O preço médio de contratação do leilão A-3 2007, que ficara em R\$

²⁵ Criação da Associação Brasileira de Energia Eólica (www.abeeolica.org.br), em 2011, um fórum exclusivo dedicado à estruturação de projetos em energia eólica para participação em leilões (<http://www.ctee.com.br/eolica/>), a conferência Brazil Windpower (<http://www.brazilwindpower.org>) e, por fim, uma análise detalhada em Gwec, (2011).

134,67, caiu para a faixa de R\$ 129,00 no leilão seguinte, o terceiro leilão realizado em 2007, mais especificamente em 16/10/2007, denominado (5º Leilão de Energia Nova), do tipo A-5. Este leilão, além disso, teve resultados positivos no âmbito ambiental: os arremates foram feitos por usinas hidrelétricas e térmicas movidas a carvão mineral, menos poluentes que as movidas a óleo, como pode ser visto a seguir:

Este 5º leilão de energia nova apresentou pontos positivos. O primeiro ponto positivo foi o pleno atendimento da demanda informada pelas distribuidoras (contratação de 110% da demanda prevista). O segundo ponto diz respeito ao retorno da venda de energia hidrelétrica, após a completa ausência destas usinas nos resultados do 4º leilão [...] Outro avanço foi a estréia das térmicas a carvão importado, que, além de possibilitarem maior diversificação para a matriz de geração de energia elétrica brasileira e maior segurança de suprimento, estão sujeitas a uma volatilidade de preço menor se comparadas às usinas a diesel ou a óleo combustível. (Acende, 2007c)

A estratégia de ganho de escala pode centrar-se em duas “subestratégias”, que são: ganho de escala para contratos de fornecimento ou ganho de escala em cadeia. Em ambos os casos, o elemento em que se estará atuando é no próprio *payoff*, ou seja, no fator lucro. Sob este ponto de vista, o investidor abre mão do lucro em um negócio específico (usina específica), com foco em ganhar mais lotes e, portanto, diluir potenciais custos fixos, assumindo o risco de ficar somente com um lote de menor rentabilidade.

No primeiro caso, assume-se a negociação de contratos de fornecimento de insumos com maior poder de barganha na negociação, estruturas corporativas de ganhos de escala (unidades administrativas centralizadas), entre outros. Já no segundo caso, entende o investidor que já faz parte de conglomerado corporativo, que possui interesses de aproveitamento em comum: logístico, de insumos, de poder de negociação. Ou seja, que suas companhias possam ser geradoras de negócios para o novo negócio, e fazer com que o “todo” ganhe com a nova escala. Pode ainda um fornecedor garantir, por exemplo, o fornecimento de combustível fóssil, que é material sem destinação de seu outro negócio, para uma usina UTE, por um longo período.

Tanto o 4º Leilão de Energia Nova, quanto o 5º, utilizaram a mesma sistemática²⁶: leilão de lance fechado primeiro preço, com ponto de corte 5%, leilão uniforme com decremento mínimo calculado pelo sistema, com lances de preço podendo ser inferiores ao decremento mínimo, até restar somente os vencedores.

Veem-se abaixo, na análise pós-leilão de Santo Antônio – Rio Madeira, realizado em 10/12/2007, indícios de estratégias utilizadas pelos participantes, baseadas em ganho de escala:

O leilão foi encerrado durante a sua primeira fase em apenas 7 minutos, uma vez que foi satisfeita a condição do lance vencedor ser inferior a 95% do segundo menor lance [...]

As especulações sobre a significativa diferença de preços entre o consórcio vencedor e os outros dois consórcios ficaram concentradas nas seguintes categorias:

1. Menor nível de percepção de risco: [...] o consórcio vencedor incorpora as empresas que participaram da avaliação do inventário hídrico e dos estudos técnico-econômicos ambientais do empreendimento [...]
2. Aceitação de menor rentabilidade com base na Aposta Estratégica ‘Combo Complexo Madeira = Santo Antonio + Jirau’: Se mantido o cronograma oficial, a segunda usina do Complexo do Rio Madeira será leiloadada ainda no primeiro semestre de 2008. A agressividade do consórcio vencedor nesta primeira licitação (Santo Antônio) pode ser uma estratégia para inibir movimentos competitivos na segunda licitação (Jirau), onde então o preço praticado seria mais alto e recuperaria a baixa rentabilidade implícita neste primeiro leilão.
3. Expectativa otimista para o preço no Ambiente de Contratação Livre: Como o modelo de venda da energia permitiu que até 30% da energia pudesse ser vendida no mercado livre, cada ofertante estimou o preço futuro de venda para o ACL. Quanto maior a expectativa de preço para o ACL, menor poderia ser a tarifa ofertada no leilão para o Ambiente de Contratação Regulado. Assim, pode-se especular que o mix final de preço proposto pelo Consórcio Madeira-Energia foi baseado em premissas de preços mais altos de venda de energia para consumidores livres a partir de 2012. (Acende, 2007d)

Observando-se o leilão de Jirau – Rio Madeira, realizado em 19/05/2008, pode-se verificar que a estratégia mais esperada de ganho de escala não foi concretizada, muito em parte por causa do novo concorrente que entrou no certame:

²⁶ Conforme editais dos leilões 001/2007 e 002/2007, publicados por ANEEL.

O resultado do leilão da usina de Jirau, do complexo do Rio Madeira, surpreendeu o mercado e os analistas, tanto pelo consórcio vencedor quanto pela tarifa ofertada. O direito de exploração de Jirau foi arrematado pelo Consórcio Energia Sustentável do Brasil (CESB) com lance de R\$ 71,40/MWh, uma redução de 21,54% em relação ao preço teto inicial de R\$ 91/MWh. O segundo competidor, o Consórcio Jirau Energia, ofertou R\$ 85,02. (Gráfico 1). A tendência de vitória do segundo grupo se baseava nos seguintes fatos: a) os componentes do Consórcio Jirau Energia foram responsáveis pela elaboração dos estudos técnicos da usina, e b) as mesmas empresas já haviam adquirido o outro empreendimento do complexo do Rio Madeira (a usina de Santo Antônio), posição que poderia propiciar ganho de escala na construção e compra de equipamentos [...]

O leilão foi encerrado durante sua primeira fase, uma vez que foi satisfeita a condição de diferença superior a 5% entre os lances dos dois competidores, sendo vencedor o consórcio que ofereceu o menor preço. A segunda surpresa foi o preço de R\$ 71,40 MWh [...]

- Implicações para o projeto: Os empreendedores justificaram que o preço abaixo da expectativa do mercado se deve a mudanças no projeto que possibilitarão a economia de R\$ 1 bilhão (12% do investimento total previsto pelo governo) e à expectativa da usina entrar em operação antes da data prevista (março de 2012 ao invés de janeiro de 2013), o que possibilitará a venda temporária de 100% da energia no ACL a um valor superior ao vendido no ACR [...]

O resultado também é um sinalizador do interesse dos agentes e da disponibilidade de capital para investimentos no setor elétrico. (Acende, 2008a)

Nota-se a presença do mecanismo de corte de 5% sobre os preços iniciais das propostas, em ambos os leilões das usinas do Rio Madeira, fazendo com que os investidores entrem no leilão com uma estratégia “tudo ou nada”. Retornando-se ao leilão da UHE Santo Antônio, além da estratégia de ganho de escala, percebe-se uma avaliação de maior aceitação de risco²⁷ (ou menor percepção de risco), utilizada, em geral, por investidores de perfil mais arrojado e menos conservador.

Por fim, a estratégia de diversificação de mercado de venda ACL x ACR também é uma estratégia percebida. Viu-se na seção anterior (2.1), que existem dois mercados onde um gerador de energia elétrica pode atuar: o mercado ACL e o mercado ACR. O segundo é aquele no qual o proponente vendedor está participando do leilão, sendo que o primeiro será o mercado onde o gerador irá negociar energia no mercado livre, com os grandes consumidores.

²⁷ Repare-se que o RET, apresentado na seção 1.2, parte do pressuposto de que os jogadores são neutros em relação ao risco, a fim de equiparar equivalência de mecanismos de leilões.

Uma estratégia de participação é distribuir parte da energia a ser gerada pelo novo empreendimento para o mercado regulado, negociado através de leilão, e reservar parte da energia para ser comercializada no mercado ACL, supondo-se que este poderá gerar retorno compatível ao esperado pelo proponente. Assim, é de se supor que o proponente consiga ofertar um valor menor no ACR. Tal estratégia também pode ser inferida na avaliação pós-leilão feita para o Leilão A-5 2008 (7º Leilão de Energia Nova):

A elevada participação térmica se deveu em grande parte à falta de projetos hidrelétricos com licença prévia, requisito indispensável para que elas sejam ofertadas no leilão. Este é o caso das usinas Cambuci e Barra do Pomba que, embora inicialmente consideradas para a oferta, não obtiveram a licença a tempo de serem inscritas no certame [...]

Com relação ao preço, a energia hidrelétrica foi negociada a R\$99/MWh, valor inferior aos obtidos nos demais leilões de energia nova [...]. Uma explicação para este fato pode ser a decisão do grupo vencedor (Neoenergia) de vender apenas 70% da energia assegurada da usina às distribuidoras através do leilão (Ambiente de Contratação Regulada ou ACR), o que permitirá vender os 30% restantes diretamente a grandes consumidores no mercado livre (Ambiente de Contratação Livre ou ACL), provavelmente a preços mais elevados [...]

A energia térmica foi negociada a um preço médio de R\$145/MWh, valor significativamente superior aos resultados obtidos nos últimos leilões de energia nova. Explicações do mercado para este fato são a elevação do custo de capital e do combustível e os sinais de encarecimento do crédito em decorrência da atual crise financeira global. (Acende, 2008d)

Também se viu, no capítulo 2, que o contrato no ACR mitiga o risco de não ter para quem vender a energia contratada e, de forma oposta, o ACL possui alta volatilidade. Um mecanismo utilizado para mitigar o risco no ACL é a utilização de derivativos de energia, de tal forma que sirva de proteção, o que se chama, no mercado de derivativos, de *hedge*. Ou seja, o percentual destinado ao ACR é uma função do preço; conforme o preço diminui, o percentual destinado ao ACR também diminui. Com base nos resultados analisados anteriormente, pode-se ver, em alguns resultados de leilões, qual foi o percentual aplicado em cada mercado. Pode-se concluir que, em geral, no mercado, fala-se de 70-30: 70% da energia destinada ao ACR e 30% da energia destinada ao ACL. A relação ACR *versus* ACL é biunívoca, e pode ser representada por:

(37)

$$\%ACR(p) = 1 - \%ACL(p), \text{ tal que } p \rightarrow p_{\min}$$

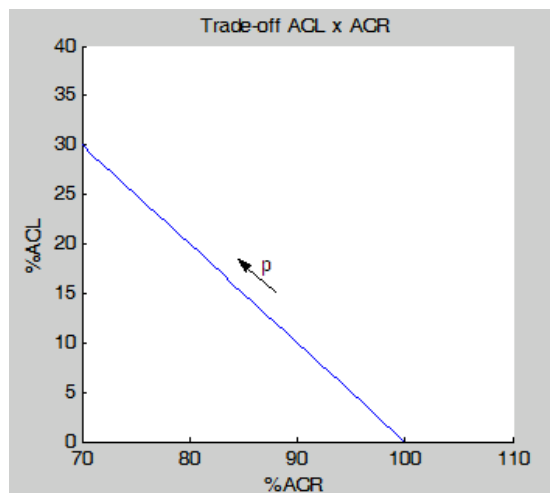
É de se supor que os 70% destinados ao ACR sejam o valor limite inferior e, em contrapartida, o percentual de 30% seja o limite superior destinado ao ACL. Ou seja:

$$\lim_{p \rightarrow p_{\min}} \%ACR(p) = 70\% \quad (38)$$

$$\lim_{p \rightarrow p_{\min}} \%ACL(p) = 30\% \quad (39)$$

Observe-se que, se o preço de negociação no ACR for alto, é interessante ao proponente vendedor destinar o maior percentual ao mercado onde o risco é menor. O investidor com maior aversão ao risco pode, portanto, tentar se posicionar com tendência maior no mercado ACR. O *trade-off* ACR *versus* ACL é tal como expresso no Gráf. 12.

Gráfico 12 – Trade-Off %ACR *versus* %ACL



Fonte: elaborado pelo autor

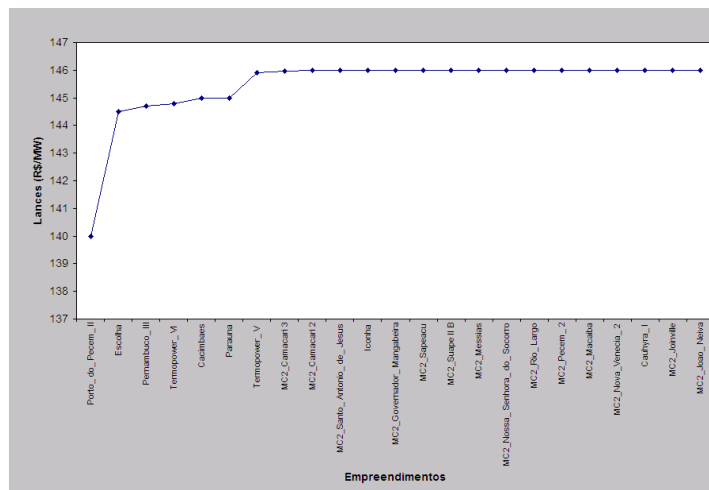
A utilização de derivativo de energia poderá trazer tanto o investidor com aversão ao risco, ao menos em parte, para o ACL, como posicionar o investidor mais propenso ao risco, com maior exposição no ACL. Posicionem-se duas possibilidades de investidores: avessos ao risco e propensos ao risco; com duas alternativas: a) sem *hedge*, ou com *hedge* de baixa amplitude; b) com *hedge*. A seguir, estabelece-se uma matriz de estratégias na Tabela 4:

Tabela 4 – Estratégias ACR versus ACL

%ACR/%ACL	Averso ao Risco		Propenso ao Risco	
	Sem Hedge	Com Hedge	Sem Hedge	Com Hedge
Preço ACR Alto	100/0	100/0	100/0	90/10
Preço ACR Médio	100/0	90/10	95/5	80/20
Preço ACR Baixo	95/5	80/20	90/10	70/30

Fonte: elaborada pelo autor

Além da inferência da estratégia de mercado, os resultados publicados para o leilão, com um maior número de competidores na lista de vencedores, como pode ser observado na Tabela 15 (Apêndice B), permitem analisar graficamente a função de demanda agregada, através da distribuição dos valores dos lances vencedores, no Gráf. 13.²⁸

Gráfico 13 – Distribuição Lances por Empreendimento Leilão A-5 2008

Fonte: elaborado pelo autor

²⁸ Neste gráfico, é interessante notar que um mesmo empreendedor obtém vitória no leilão, com um grande número de empreendimentos no maior valor de lance vencedor. Há duas hipóteses de avaliação: ou o investidor entende que todo grupo de lances ao preço R\$ 146,00 (11 lances sobre um total de 14) tem a mesma utilidade associada, ou a estratégia na fase discriminatória do leilão foi uma estratégia de fuga. Caso esta segunda tenha sido colocada em prática, pois o preço de R\$ 146,00 foi o preço final na última rodada uniforme, é de se supor que tenha ocorrido a “praga do vencedor” – quando o vencedor obtém vitória em um leilão com uma utilidade que não é a esperada ou real.

A sistemática utilizada neste leilão é a mesma do leilão A-3 2008, que se verá a seguir. Por fim, o leilão A-5 2008 reflete uma característica macroeconômica do período no qual está inserido: a crise econômica mundial de 2008, tendo como consequência a elevação do custo de crédito, com impactos diretos nas propostas, tendo em vista o alto grau de articulação para financiamento. Um pouco antes disso, nos leilões A-3 2008, conforme Acende (2008c) e 1º Leilão de Reserva, ainda em conformidade com este autor (2008b), realizados no mesmo ano, nota-se uma elevação do preço médio da energia contratada, já denotando sinais claros da crise que se anunciara²⁹ em meados de 2008. Veja-se a avaliação do 1º Leilão de Reserva:

O preço teto de R\$157/MWh foi considerado baixo por alguns empreendedores e apontado como principal fator para a baixa adesão ao certame. Esta hipótese é suportada pelo fato de que o preço médio final de R\$155,6/MWh implicou um deságio de apenas 0,9% em relação ao teto [...]

Segundo os próprios participantes, outros fatores que reduziram o apetite pelo Leilão de Reserva foram: a) o prazo exigido para entrega de energia, curto face aos desafios dos cronogramas de implantação dos projetos; b) o fato de alguns dos empreendimentos preferirem ofertar sua energia no leilão A-3 de 2008, programado para setembro, com entrega de energia prevista para 2011; e c) indefinições regulatórias sobre as linhas de transmissão que conectarão as usinas à rede elétrica.

Do lado positivo, registre-se que este leilão representou a introdução de uma fonte até então pouco aproveitada para geração de energia. Há grande movimentação entre os players do mercado sucro-alcooleiro e de novos entrantes com o objetivo de posicionar a biomassa como relevante fonte na matriz elétrica. (Acende, 2008b)

Conforme portarias do Ministério de Minas e Energia, n.ºs. 331/2007, 68/2008, 85/2008, 152/2008, 163/2008, 187/2008, 231/2008 e 239/2008, é promulgado o edital LEILÃO N.º. 02/2008 em 15 de julho de 2008, através do Processo n.º 48500.007396/2007-94, dando origem ao leilão A-3 2008, 6º Leilão de Energia Nova. A Portaria n.º 231 de 4 de julho de 2008, mais especificamente, contém o detalhamento do sistema do leilão. A seção 2.3, II – (segunda fase, item b), “Etapa Outras Fontes”, declara o tipo de leilão praticado: rodadas uniformes e rodadas discriminatórias. A sistemática básica é composta por um leilão fechado de menor preço³⁰, que qualifica o menor lance, e lances com valores até 5% superiores, seguidos de um leilão uniforme para atendimento de demanda, onde são efetuados lances de quantidade de lotes, e encerra-se com um leilão discriminatório de rodada única, com lance de

²⁹ Poderá ser observada, nos leilões que se seguiram em 2009 e depois disso, uma queda acentuada do preço médio de energia contratada.

³⁰ Menor ou primeiro preço – *sealed-bid first-price auction*, como visto na seção 1.2.

preço associado à quantidade final da rodada uniforme. As demais portarias tratam de outros assuntos, entre eles, qualificação técnica das propostas. Dentre os resultados analisados, destacam-se:

O 6º Leilão de Energia Nova comercializou energia de empreendimentos termelétricos a óleo combustível (75% do total contratado) e a gás natural (25% do total). Conforme observado em análises anteriores, a expressiva participação de térmicas a óleo combustível e óleo diesel representa um retrocesso econômico e ambiental [...]

A sobre-contratação de energia a um preço médio final 14,4% abaixo do preçoteto (R\$150/MWh) é um sinal positivo de competição entre os agentes que tende a favorecer os consumidores de energia, embora tenha levantado dúvidas no mercado sobre a real viabilidade econômica dos projetos. (Acende, 2008c)

Os leilões de 2008, como se pôde ver, foram aqueles com os maiores preços de energia média contratados até então. Muito embora se avaliem diversos outros fatores, o financiamento de projetos deste fator é preponderante para avaliação do VPL, cálculo base para estabelecimento de propostas de investimentos. O encarecimento do crédito traz, portanto, consequência direta sobre estes projetos de investimentos de longo prazo.

Como sucessão de fatos, em 2009, o 8º Leilão de Energia Nova (A-3 2009), realizado em 27/08/2009, apresentou baixíssimo atendimento da demanda ofertada. Ora era de se esperar: na esteira da crise de 2008, o PIB brasileiro dava sinais claros de estagnação, apesar de seu melhor posicionamento em relação ao resto do planeta. As fontes de capital contraíram-se, reduzindo drasticamente seu potencial de aporte. Alguns resultados deste leilão:

[...] a capacidade das usinas vencedoras representa apenas 1,6% do montante habilitado para participação no leilão e atendeu a apenas 8% da demanda projetada pelas distribuidoras [...]

A frustração da demanda pode ser explicada por alguns fatores:

- 1) Os agentes ofertantes haviam sinalizado antes do leilão que os preços teto definidos pelo governo (R\$ 144/MWh para fonte hídrica e R\$ 146/MWh para outras fontes) estavam muito baixos, o que poderia desestimular a oferta.
- 2) As térmicas a gás natural não puderam fazer ofertas competitivas em função do alto custo do combustível, conforme reconhecem autoridades do governo. (Acende, 2009a).

A sistemática de funcionamento deste leilão compõe-se de leilão uniforme de lance quantidade de lotes ofertada dado um preço inicial, até o atendimento de toda a demanda apresentada para o certame (se a oferta de energia foi maior que a demanda, o que não ocorreu para este leilão). Atendida a demanda é realizado um leilão discriminatório para que os participantes dêem como lance o preço, competindo pelo preço mínimo.

Fica evidente que a situação econômica mundial apresentava-se totalmente desfavorável a investimentos (principalmente de longo prazo), que com sua retração denotam claramente que a posição do governo em cancelar o leilão seguinte previsto, A-5 2009 era a decisão mais acertada. O desenrolar do segundo semestre, no entanto, foi marcado por uma mudança de fluxo de investimentos globais tendo como destinação o território brasileiro. Ora o Brasil apresentara boa capacidade de superação na crise, e fora agraciado com a aplicação de recursos de investimentos. A matriz energética brasileira já havia demonstrado sinais claros de potencial para crescimento em fontes limpas de geração, algo cada vez mais valorizado no mundo pela opinião pública.

Ao final do ano de 2009, em 14 de dezembro, fora realizado um leilão específico para energia eólica (com prazo de 20 anos de concessão), com uma forte adesão por parte de investidores, o 2º Leilão de Energia de Reserva – Eólica³¹, demonstrando uma boa aceitação por este tipo de investimento, com o mesmo tipo de sistemática³² de realização do leilão A-3 2009, com a seguinte avaliação:

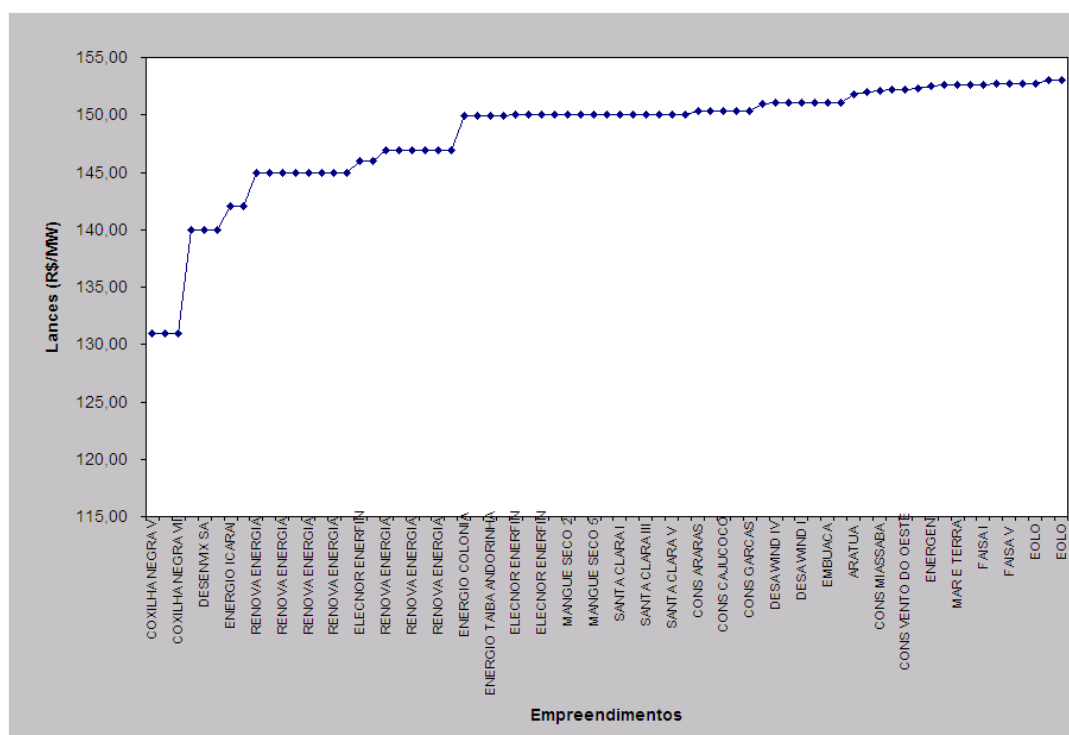
O leilão contou com a participação de 339 usinas (136 agentes) e capacidade total de 10.005 MW a serem negociados em contratos de 20 anos, reajustados pelo IPCA, com entrega de energia a partir de 1º de julho de 2012. Foram contratados 753 MW médios de energia de 71 usinas, com capacidade total de 1.805,7 MW. Este montante é três vezes superior a todo o parque eólico atualmente em operação no país (602 MW). Este resultado denota um nível elevado de competição e baixa concentração (a usina ‘média’ do leilão é de 10,6 MW médios). (Acende, 2009b)

³¹ Despacho ANEEL nº 1848, de 03/06/2009.

³² Conforme CCEE, Detalhamento da Sistemática publicado em 03/12/2009.

Como é de se esperar em um ambiente competitivo, os preços da energia gerada por este tipo de fonte baixaram, como pode ser visto na Tab. 12 (Apêndice B), com diferentes níveis de percepção de utilidade para grupos de usinas vendedoras. O grau de dispersão também é devido ao menor tamanho (considerando-se o potencial energético contratado) em relação a outros tipos de usinas. Isto é, um parque eólico é pequeno em relação a uma UTE ou UHE, em geral, 5% a 10%.

Gráfico 14 – Distribuição Lances por Empreendimento Leilão A-1 2009 Eólica



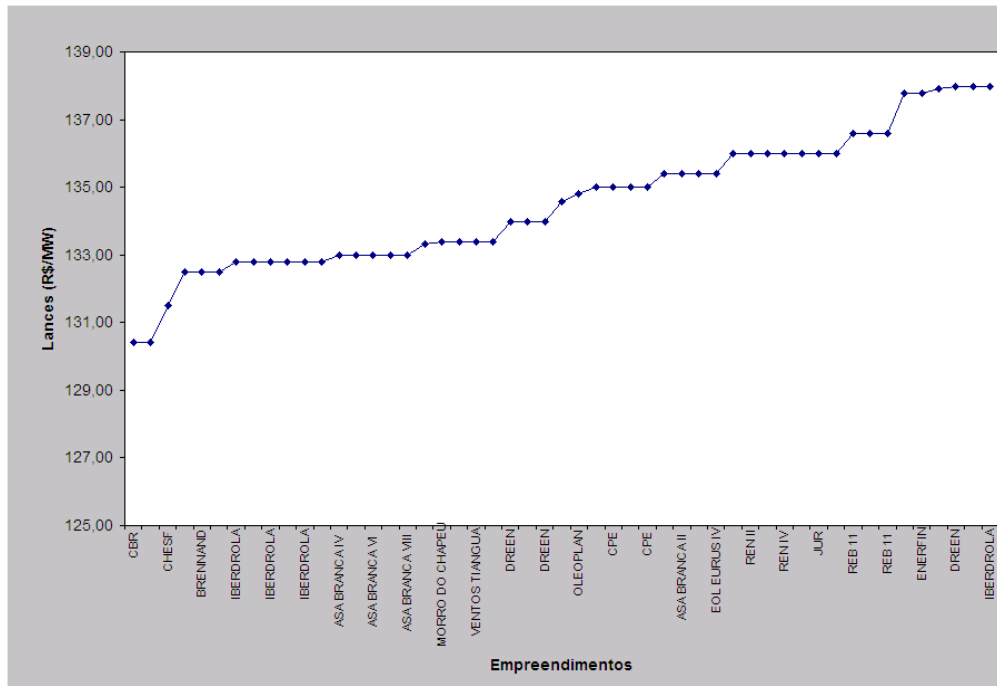
Fonte: elaborado pelo autor

Já em 2010, em julho deste ano fora realizado o Leilão A-5 Hídrico específico para contratação de energia provida de recursos hídricos (ACENDE, 2010b) e em seguida o 3º Leilão de Energia de Reserva, realizado em 25/08/2010, e o 2º Leilão de Fontes Alternativas, realizado em 26/08/2010, apresentando grande adesão de participantes no certame. Nota-se a segmentação por tipo de origem, para evitar a competição entre distintos tipos de geração, como ocorrera em 2007 e 2008. A sistemática de funcionamento básica³³ de ambos leilões repete os leilões anteriores A-3 2009 e 2º Leilão de Energia de Reserva. Seus resultados

³³ Conforme CCEE, editais dos leilões nº 05/2010 e nº 07/2010, versão 10/08/2010.

(ACENDE, 2010c) podem ser vistos na Tab. 13 (Apêndice B), e a função de distribuição dos lances vencedores está apresentada no Gráf. 15.

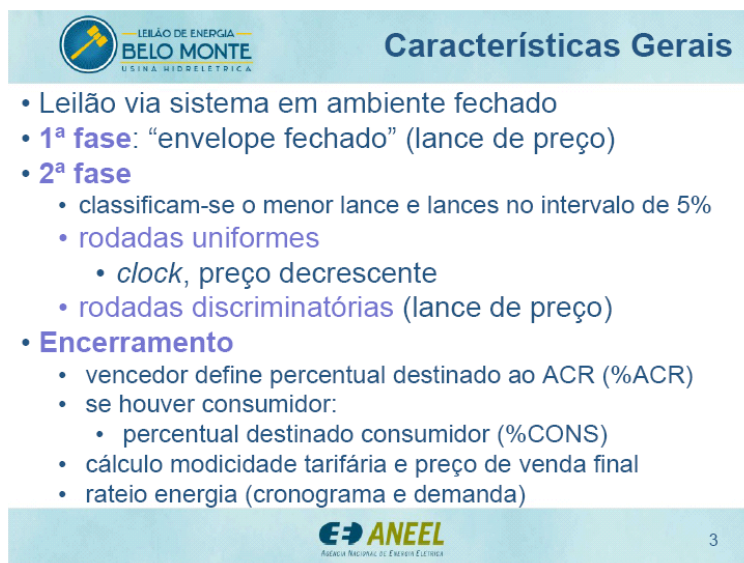
Gráfico 15 – Distribuição Lances por Empreendimento Leilão Outras Fontes 2010



Fonte: elaborado pelo autor

No mesmo ano de 2010, porém no mês de abril, fora realizado o Leilão UHE Belo Monte. De características bem distintas, dado o porte da usina, o leilão foi cercado de disputas de origem ambiental e envolvimento com questões indígenas e de habitantes da região, devido a desapropriação de terras, o que acabaram por gerar diversas disputas judiciais a fim de impedir a realização do mesmo. Na Fig. 16 apresenta-se a sistemática do leilão, donde concluímos que há 3 etapas: leilão de lance fechado de primeiro preço com corte de 5%, leilão uniforme e leilão discriminatório rodada única. Houve somente dois participantes do leilão, cada qual com um numeroso grupo de empresas que articularam a criação da SPE³⁴.

³⁴ Sociedade de Propósito Específico, como visto na seção 2.2, arranjada para criação do *project finance*.

Figura 16 – Sistemática Leilão Belo Monte


Características Gerais

- Leilão via sistema em ambiente fechado
- **1ª fase:** “envelope fechado” (lance de preço)
- **2ª fase**
 - classificam-se o menor lance e lances no intervalo de 5%
 - **rodadas uniformes**
 - *clock*, preço decrescente
 - **rodadas discriminatórias** (lance de preço)
- **Encerramento**
 - vencedor define percentual destinado ao ACR (%ACR)
 - se houver consumidor:
 - percentual destinado consumidor (%CONS)
 - cálculo modicidade tarifária e preço de venda final
 - rateio energia (cronograma e demanda)

ANEEL
AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA

3

Fonte: EPE (2010)

Notadamente há presença de diversos agentes na composição (grandes consumidores, geradores já presentes em outros empreendimentos, transmissores e distribuidores) atuando em uma composição de economia de escala, como é avaliado (ACENDE, 2010a) em:

O direito de exploração do potencial hidrelétrico de Belo Monte foi arrematado pelo Consórcio Norte Energia [...] com lance de R\$ 78,00 por megawatt-hora (MWh), um deságio de 6,02% em relação ao preço máximo de R\$ 83,00 por MWh. Como referência, nos leilões dos potenciais hidrelétricos do Rio Madeira os preços vencedores foram de R\$ 78,00 por MWh [...] e R\$ 71,40 por MWh (Hidrelétrica de Jirau, valor sem atualizações e referente a 19/05/2008 [...])

O leilão só pôde ser iniciado às 13:20, depois que o Tribunal Regional Federal da 1ª Região cassou uma liminar expedida na noite anterior pela Justiça Federal do Pará. O certame durou aproximadamente sete minutos, tendo sido encerrado após a submissão do primeiro lance de cada participante. O outro participante do leilão, o Consórcio Belo Monte Energia, ofertou um lance de R\$ 82,90 por MWh. Como a diferença entre os lances dos dois participantes foi superior a 5%, o leilão foi encerrado, em conformidade com as regras previstas pela sistemática do leilão [...]

O Consórcio Belo Monte Energia, que tinha entre seus integrantes empresas que participaram da elaboração dos estudos ambientais e de viabilidade da usina, contava com três empresas de energia (Neoenergia, Furnas e Eletrosul), dois grandes consumidores de energia no mesmo submercado (Vale e CBA) e uma construtora (Andrade Gutierrez).

O Consórcio Norte Energia, formado às vésperas do leilão após a desistência do consórcio liderado pela Odebrecht, Camargo Corrêa e CPFL, é composto de nove empresas: uma empresa de energia (a Chesf, estatal do grupo Eletrobras) e oito construtoras ou holdings do setor de construção: Queiroz Galvão, J. Malucelli, Cotern e Gaia (que são, respectivamente, empresa de construção civil e holding de

cinco pequenas centrais hidrelétricas do Grupo Bertin), Cetenco, Galvão Engenharia, Mendes Junior e Serveng-Civilsan. (Acende, 2010a)

Podemos observar aqui uma estratégia clara de tentar jogar o “tudo ou nada” no leilão de lance fechado de primeiro preço. O vencedor ofertou lance com pouca folga maior que o ponto de corte de 5%. Por acreditar que seria muito difícil ocorrer um preço tão baixo, o segundo concorrente ofertou preço pouco abaixo do preço teto. Assim, o leilão foi definido no primeiro e único lance³⁵. Fica clara a eficiência de um leilão de lance fechado de primeiro preço quando há poucos licitantes.

Além de Belo Monte, onde podemos observar a competição com participantes de grande porte, nos leilões onde há presença das EOL, PCH e CGH há aparecimento de competidores de vários portes, alguns já estabelecidos e outros entrantes. Há, portanto, um estabelecimento de estratégia de penetração e participação de mercado de acordo com a classificação do porte (pequeno ou grande), e seu grau de presença no mercado: estabelecido, possui grande presença no mercado; não-estabelecido possui pequena presença mercado e; entrante, não participa ainda do mercado. Com a avaliação pelo porte, em relação à presença de mercado, podemos montar a Tab. 5.

³⁵ Relembrando um caso conhecido, o leilão do banco Banespa, em 20/11/2000. O ponto de corte era 20% para o lance mínimo de R\$ 1,85 bi. O jogador mais bem posicionado no mercado, o Bradesco possuía o dobro de valor em caixa do segundo concorrente no mercado local de SP, e 25% a mais de agências que o Itaú. Optou, então, por uma estratégia de segurança, ofertando apenas 0,53% acima do lance mínimo. O terceiro colocado no mercado, o Unibanco, arriscou-se um pouco mais com um valor de lance cerca de 13% acima do valor mínimo. Itaú detinha, então, segunda colocação no mercado e desistiu no momento do lance. Surpreendentemente os espanhóis do Santander ofertaram um lance de R\$ 7 bi – mais que 200% acima do valor mínimo, encerrando o leilão.

Tabela 5 – Estratégias Porte versus Participação de Mercado

	Pequeno	Grande
Estabelecido	Não participa de novos leilões, pois não tem capacidade financeira	Participa de novos leilões, com preço de reserva alto, pois só aproveita boas oportunidades;
Não- Estabelecido	-	Participa de novos leilões, conhecendo mais o mercado, com maior agressividade, portanto, com preço de reserva baixo;
Entrante	Participa de novos leilões, com preço de reserva baixo, encontra seu “nicho” ou boa oportunidade de investimento	Participa de novos leilões, com preço de reserva variando de acordo com seu apetite ao risco

Fonte: elaborado pelo autor

Na Tab 6., um resumo dos leilões realizados a partir de 2005, com alguns dados relevantes além de inferências e informações relevantes aqui coletadas, no que diz respeito a abordagem de análise da estratégia dos participantes. Pode-se notar a pluralidade de características entre os leilões, com algumas características evolucionária, baseadas no aprendizado colhido durante as experiências.

3.4 Conclusão

Pode-se observar neste capítulo que a utilização de leilões para geração de energia elétrica tornou-se um expediente no mercado brasileiro de energia. Não obstante a alguns resultados satisfatórios (e outros contraditórios), a sistemática utilizada está evoluindo, sendo revista e aparentemente adequada ao planejamento de longo prazo para a matriz energética.

O desafio na montagem da estratégia, é, portanto, minimizar o valor de reserva. Ou seja, montar um plano de negócios que consiga atingir o menor preço de venda do lote. Para conseguir isto, o proponente deverá ser extramente eficiente. Assim, uma estratégia que seja eficiente deve ser adotada.

Tabela 6 – Alguns Resultados de Leilões

Leilão	Sistemática	Realização	Empreendimentos	MW	Volume (R\$ BI)	Preço Médio	Obs
1.o Leilão Energia Nova A-5 2005		01/10/2005	49	3.286	68,40		20 novas, 11 hidro, 9 termo
2.o Leilão Energia Nova A-3 2006		05/10/2006		1.682	45,60	128,95	
3.o Leilão Energia Nova A-5 2006		10/10/2006	10 (38 participantes)	1.104	27,75	128,90	51% hidro, 49% termo
1.o Fontes Alternativas A-3 2007		18/06/2007	18 (87 habilitados)	638	4,18	137,32	Termo biomassa (541MW)/PCH (96MW)
4.o Leilão Energia Nova A-3 2007	Discr. (Preço) com corte 5% + Uniforme (Qtd) + Discr. (Preço)	26/07/2007	12	1.304	23,09	134,67	100% termo (oleo)
5.o Leilão Energia Nova A-5 2007	Discr. (Preço) com corte 5% + Uniforme (Qtd) + Discr. (Preço)	16/10/2007	10 (5 hidro, 5 termo)	2.312	51,40	128,76	Preço inicial R\$ 141, 52 rodadas, Preço médio 129,14 Hidro, 128,37 Termo.
UHE Santo Antônio – Rio Madeira	Discr. (Preço) com corte 5% + Uniforme (Qtd) + Discr. (Preço)	10/12/2007			32,18	78,87	70/30 (ACR/ACL), Preço inicial R\$ 122.
UHE Jirau – Rio Madeira	Discr. (Preço) com corte 5% + Uniforme (Qtd) + Discr. (Preço)	19/05/2008			24,90	71,37	Preço inicial R\$ 91. 70/30
1.o Leilão Reserva 2008 – Biomassa		14/08/2008	31 (96 habilitados)	2.379	10,72	58,84	
6.o Leilão Energia Nova A-3 2008	Discr. (Preço) com corte 5% + Uniforme (Qtd) + Discr. (Preço)	17/09/2008	10 termo (193 habilitados)	1.076	18,17	128,42	Deságio 14,38%
7.o Leilão Energia Nova A-5 2008	Discr. (Preço) com corte 5% + Uniforme (Qtd) + Discr. (Preço)	30/09/2008	24 (146 habilitados)	5.566	60,50	141,78	
8.o Leilão Energia Nova A-3 2009	Uniforme (Qtd) + Discriminatório (Preço)	27/08/2009	2 (25 habilitados)	11	0,23	144,00	Preço inicial R\$ 146
A-5 2009 – Cancelado							
2.o Leilão Reserva A-1 2009	Uniforme (Qtd) + Discriminatório (Preço)	30/11/2009		84		99,00	58 rodadas, hidro/termo
1.o Leilão Energia Nova A-3 2009 - EÓLICA		14/12/2009	71 (339 habilitados)	753		148,30	Deságio 21%
UHE Belo Monte	Discr. (Preço) com corte 5% + Uniforme (Qtd) + Discr. (Preço)	20/04/2010			62,00	77,97	Preço inicial R\$ 83 70/20/10
Hídrico A-5 2010 (Nova)		30/07/2010	7	327	8,50	99,48	Hidro
3.o Leilão Reserva 2010 – Fontes Alternativas	Uniforme (Qtd) + Discriminatório (Preço)	25/08/2010	89 (366 habilitados)	2.892	26,90	133,56	Termo/PCH/Eólica
1.o Leilão Energia Nova A-1-2010		10/12/2010		98		105,04	13 rodadas
1.o Leilão Energia Nova A-5-2010		17/12/2010	2 (27 habilitados)	2.120	17,30	67,31	Hidro

Fonte: elaboração pelo autor

Os planos de negócios são de longo-termo (para recursos hídricos é 30 anos, e para outras fontes, 15 anos), portanto, o proponente deve se assegurar de garantias. Isto é conseguido através de pré-contratos de fornecimento. Neste modelos, a engenharia economico-financeira toma importância relativa, visto que o risco de mercado é do proponente.

Sendo um investimento de retorno em longo prazo, e tendo a economia brasileira uma certa estabilidade nos anos 2000, após algum tempo de avaliação pelo mercado o número de competidores está em crescente e com isto trazendo consequências benéficas – maior concorrência pela maior atração de investidores e consequente maior bem-estar com a melhor eficiência na transferência da concessão.

Pode-se observar dois tipos de estratégias principais: estratégias de financiamento (que dizem respeito a preparação e articulação pré-leilão) e estratégias de atuação no leilão (que dizem respeito principalmente a variações em preços). Porém, observamos que todas as estratégias formuladas estão diretamente ligadas a instrumentos financeiros - faz sentido, dado que um investimento de tal magnitude e prazo deve estar ligado a um plano de negócios bem estruturado.

No próximo capítulo o objetivo será a formulação de um simulador que se utilizará para testar as estratégias aqui estabelecidas. Optou-se por um dos modelos mais atuais – o leilão A-3 2009 – estabelecendo em seguida bases de dados que representarão os perfis de estratégias a serem estudados, e por fim os exercícios de simulação.

4. SIMULADOR E RESULTADOS

Se avaliará inicialmente a sistemática a ser reproduzida no simulador – para isto foi escolhido o Leilão A-3 2009, por ser um dos modelos mais atuais. Com base no entendimento da sistemática do leilão e entendimento do modelo básico, e a partir da formulação do fluxograma do simulador e do diagrama de agentes, será montado o algoritmo base em linguagem natural³⁶ do simulador de leilões. O simulador foi desenvolvido para reproduzir a sistemática do leilão, tendo como operador um suposto proponente vendedor (participante do leilão), que testará suas possíveis estratégias, mediante alguns cenários, e verificará seu possível sucesso no leilão.

Em seguida se fará a montagem da tabela de estratégias, baseado no estudo do capítulo anterior, em formato estruturado, onde procura-se entender o impacto de cada estratégia escolhida na estratégia de participação do leilão, que é o lance. Para tal feito utilizar-se-á uma tabela *fuzzy* onde será aplicado um fator de multiplicação para preço e risco: o primeiro impactando diretamente o lance, e o segundo impactando a alteração do preço de lance. Estes multiplicadores podem ser utilizados para a calibragem do simulador.

Definida a função utilidade esperada - que terá como influência o preço e risco – aplicaremos a estratégia de participação que varia de acordo com a etapa (uniforme ou discriminatória) e de acordo com o preço praticado no leilão. Feito isto serão desenvolvidos os comportamentos dos dois agentes: o agente 1 simulará a tomada de decisão do proponente na etapa uniforme, e o agente 2 simulará a tomada de decisão do proponente na etapa discriminatória do leilão. A tradução da linguagem natural será feita em Matlab.

Serão realizados exercícios de simulação a fim de entender como se comportam as estratégias em um cenário competitivo, através das curvas de preferências dos supostos

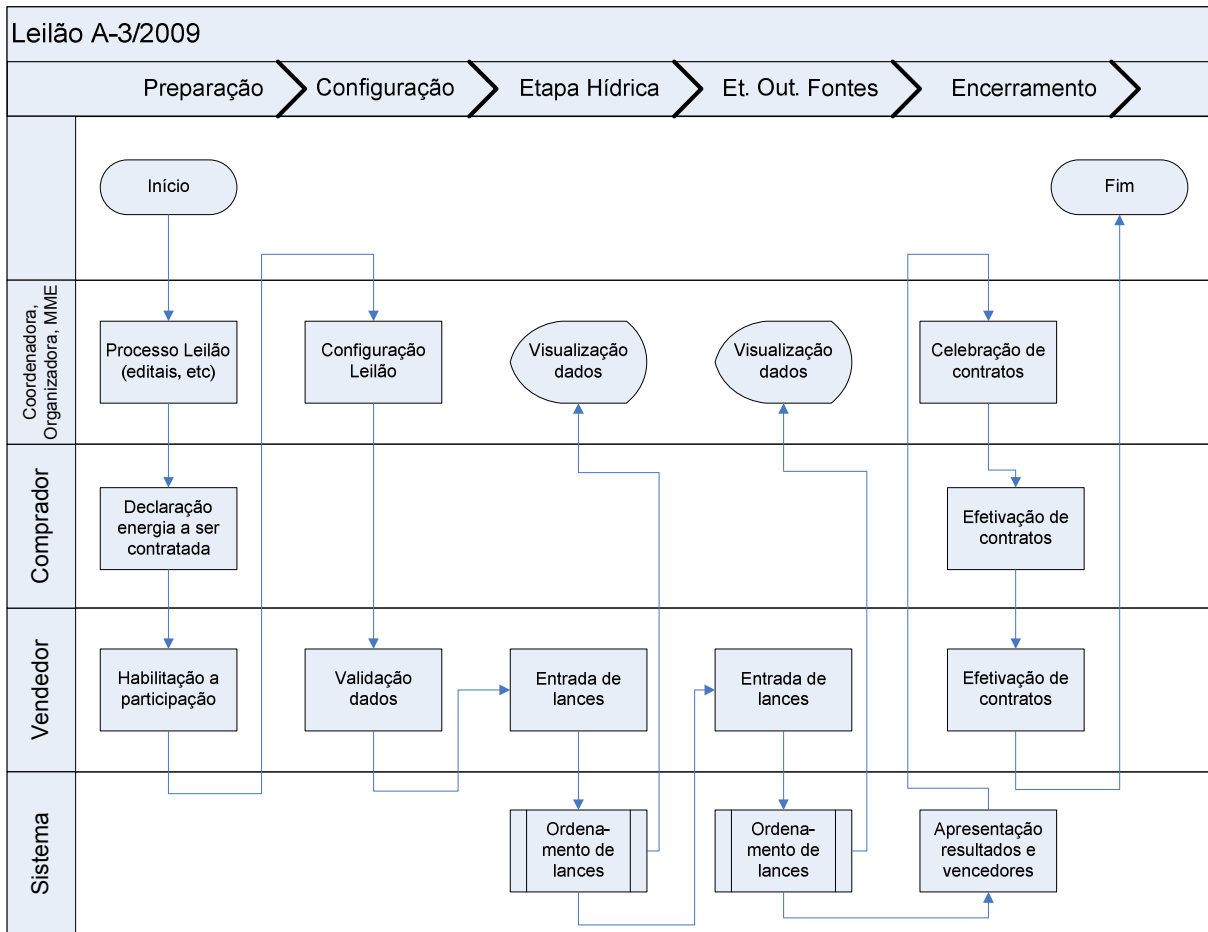
³⁶ Por linguagem natural para algoritmos, entende-se português estruturado em formato de lógica de programação.

participantes, expressas através de curvas de valores de lances, passando-se então para as conclusões do capítulo.

4.1 O Modelo baseado na Sistemática de Funcionamento do Leilão A-3/2009

Notaram-se algumas diferenças entre os modelos do leilão A-3/2008 (e Belo Monte) e leilão A-3/2009. Optou-se por utilizar como base o leilão A-3/2009 para fins de análise da sistemática de funcionamento, buscando avaliar as ferramentas e características básicas presentes nos leilões, publicada em portarias do MME, disponível para acesso. Os demais leilões apresentam sistemática muito similar, com pequenas variações. Sendo assim, será analisada a sistemática deste leilão a fim de estabelecer um modelo.

Figura 17 – Macro Fluxo Leilão A-3-2009



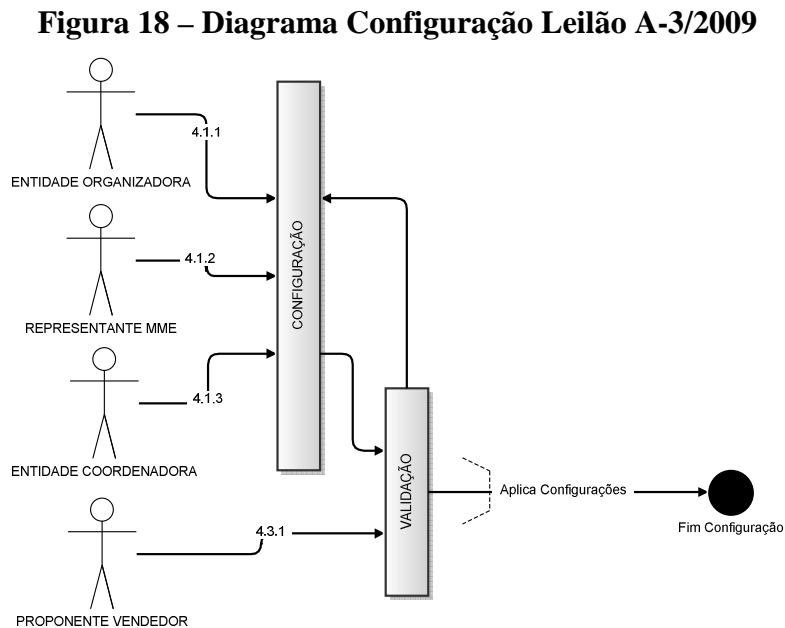
Fonte: elaborado pelo autor

O documento de referência, bem como o passo inicial de identificação dos pontos relevantes ao nosso estudo, estão em (CCEE). Optou-se por manter a identificação de item do documento original, para fácil referência ao mesmo³⁷.

Inicialmente o macro-fluxo de funcionamento do leilão está apresentada na Fig. 17, onde pode-se vislumbrar as fases preparação (antes do leilão), configuração, etapas hídrica e outras fontes, e encerramento.

³⁷ Note desde a Fig. 18 até a Fig. 22, um identificador junto aos elementos de 3 agrupamentos:

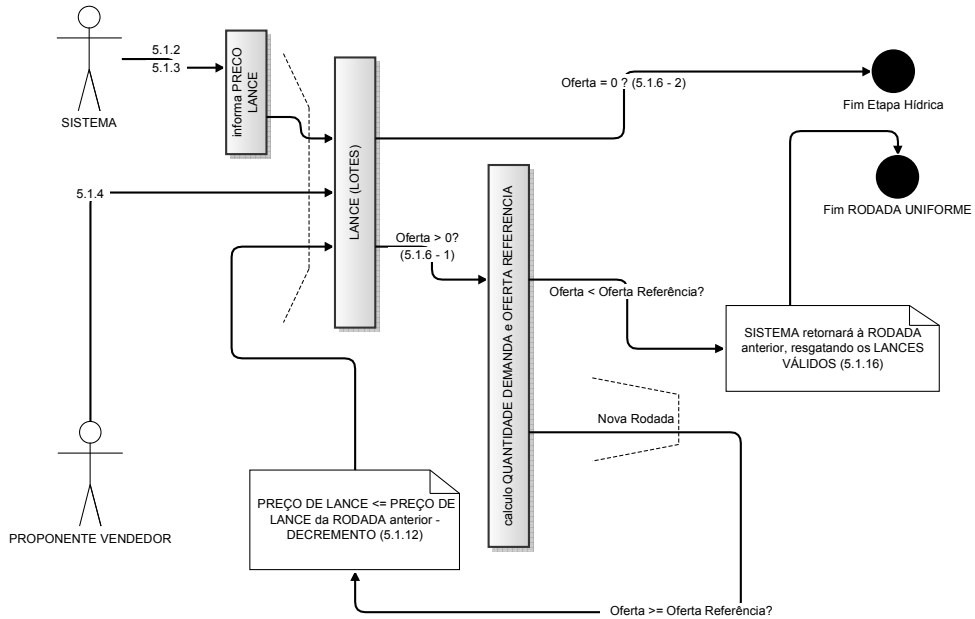
A fase de configuração do sistema, pode ser melhor visualizada através do diagrama da Fig. 18, onde apresentamos os agentes e suas interações. Nestas interações procurou-se incluir a referência (4.1.1, por exemplo, para ENTIDADE ORGANIZADORA) para o sub-item do documento original. Assim, qualquer referência ao documento original contendo a sistemática do mesmo (disponível em CCEE), fica facilitada.



Fonte: elaborado pelo autor

Este leilão é dividido em duas etapas, como salientado no documento referência: etapa hídrica e etapa outras fontes. Veja-se o diagrama da etapa hídrica, rodadas uniformes, apresentada na Fig. 19, formulado com base no documento original.

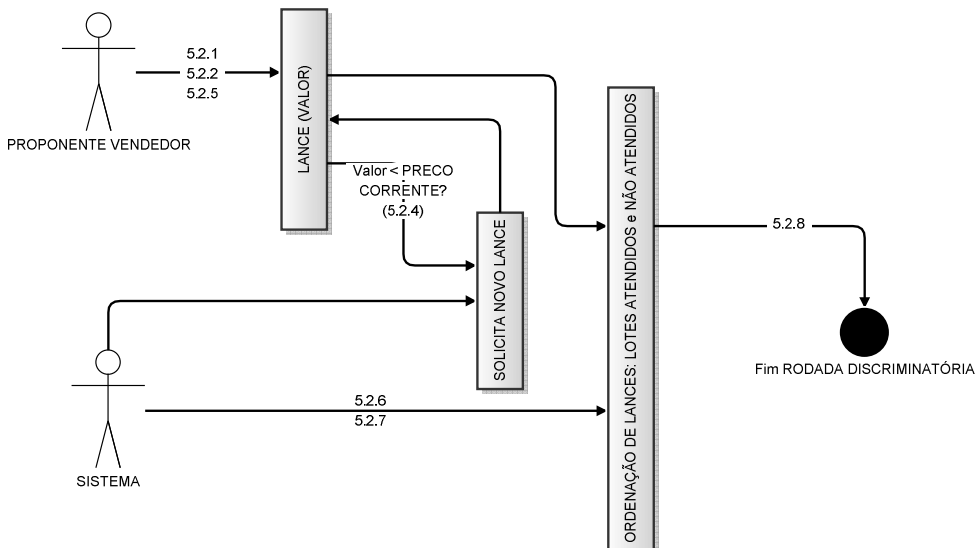
Figura 19 – Diagrama Etapa Hídrica, Rodadas Uniformes, Leilão A-3/2009



Fonte: elaborado pelo autor

Ao término das rodadas uniformes do leilão, da etapa hídrica (5.1.16), se seguirá a etapa discriminatória. Na Fig. 20 podemos observar o diagrama da etapa hídrica, rodada discriminatória.

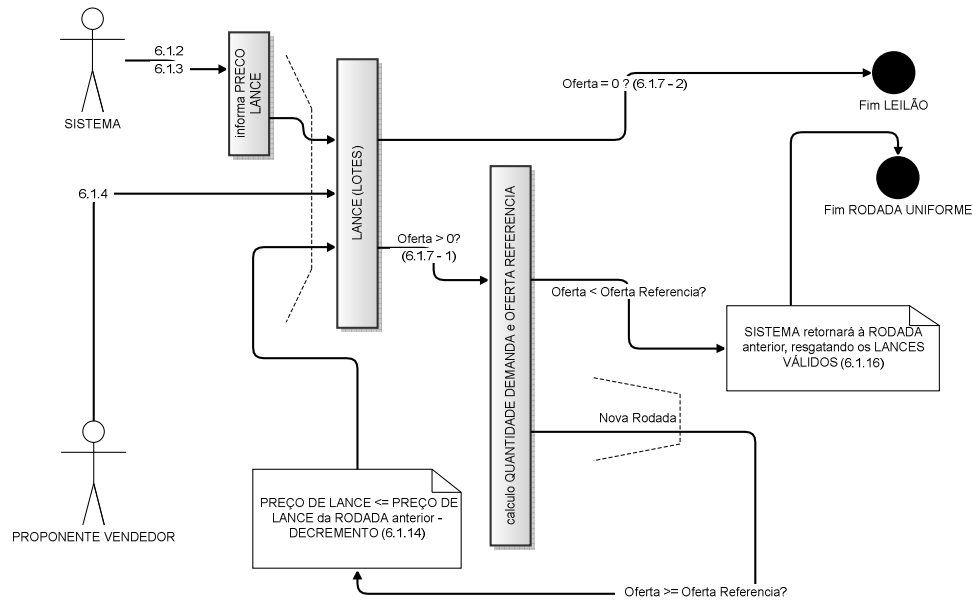
Figura 20 – Diagrama Etapa Hídrica, Rodada Discriminatória, Leilão A-3/2009



Fonte: elaborado pelo autor

Ao término da rodada discriminatória, da etapa hídrica (5.2.8 ou caso 5.1.6-2), se seguirá a etapa outras fontes, como veremos pelo diagrama da Fig. 21.

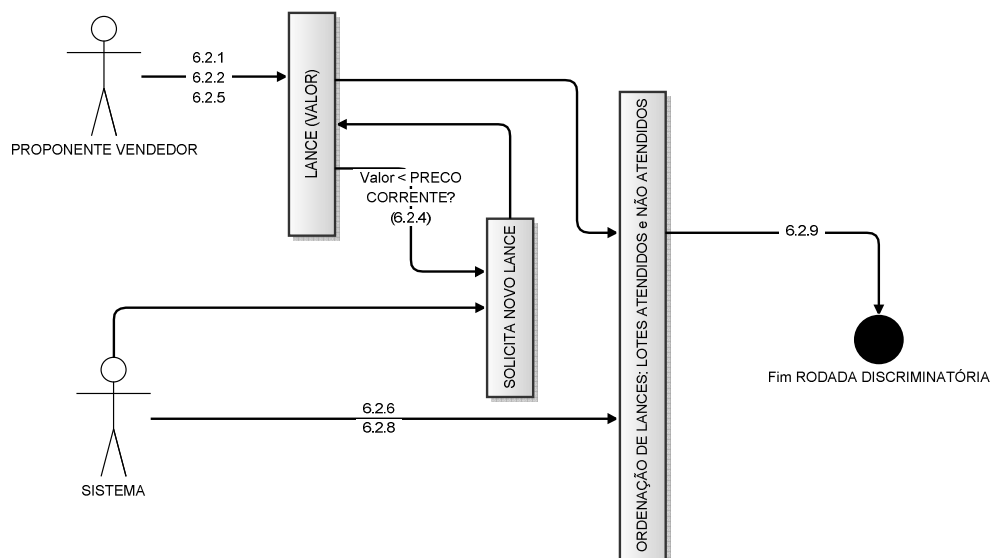
Figura 21 – Diagrama Etapa Outras Fontes, Rodadas Uniformes, Leilão A-3/2009



Fonte: elaborado pelo autor

E, por fim, ao término das rodadas uniformes, pelo caso 6.1.16, se seguirá a rodada discriminatória relativa a etapa outras fontes, como na Fig. 22. E o leilão será encerrado após a etapa outras fontes, rodada discriminatória (6.2.9) ou no caso 6.1.7-2.

Figura 22 – Diagrama Etapa Outras Fontes, Rodada Discriminatória, Leilão A-3/2009

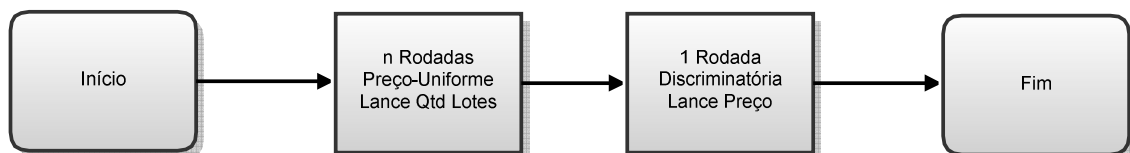


Fonte: elaborado pelo autor

No edital do leilão está explicitado que há somente uma rodada discriminatória, e as rodadas uniformes são tantas quantas o leilão suportar (para etapa hídrica e etapa outras fontes). No diagrama, utilizou-se a referência “rodada uniforme” no singular, tendo em vista que o mesmo representa cada iteração referente a rodada (nota-se a recursividade em 5.1.12 e 6.1.14).

No entanto, fica fácil verificar que a similaridade da sistemática entre rodadas uniformes, de ambas etapas, e rodadas discriminatórias, de ambas etapas – basta verificar que as atividades, agentes e estados são os mesmos, variando somente o produto (hídrico ou outras fontes). Para efeito de modelagem, sem perda de significância, pode-se concluir que o leilão possui um conjunto de rodadas uniformes. Ao término destas, há uma etapa discriminatória, tal como mostrado na Fig. 23.

Figura 23 – Diagrama de Blocos Resumido: sistemática Leilão A-3/2009



Fonte: elaborado pelo autor

Compreendido o funcionamento da sistemática do leilão, através da diagramação de suas etapas, será possível agora desenhar a estrutura do simulador. Passa-se, em seguida, para a etapa de desenvolvimento do software simulador.

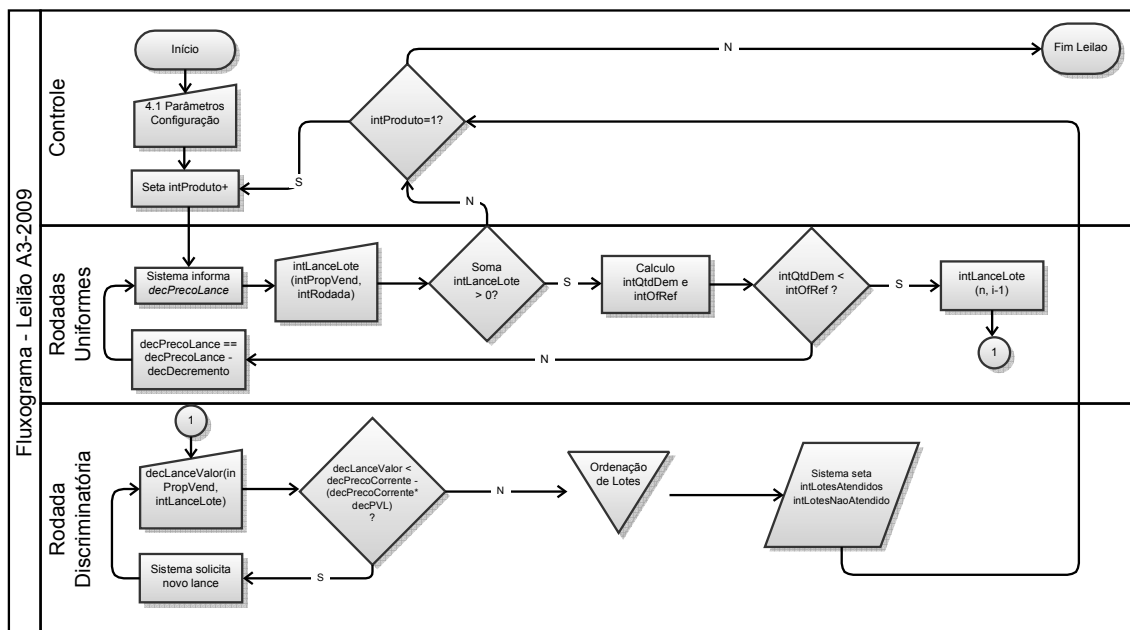
4.2 Desenvolvimento do Simulador slmDJusto

Para elaboração do algoritmo base do simulador, revisaram-se os diagramas de funcionamento, bem como o documento que descreve a sistemática. Utilizaram-se os

elementos padrão de fluxogramas, assim nota-se nas caixas onde há entrada de dados – configuração do sistema e lances – na Fig. 24. A configuração será pré-determinada para cada leilão, onde se utilizará um arquivo de base de dados de configuração.

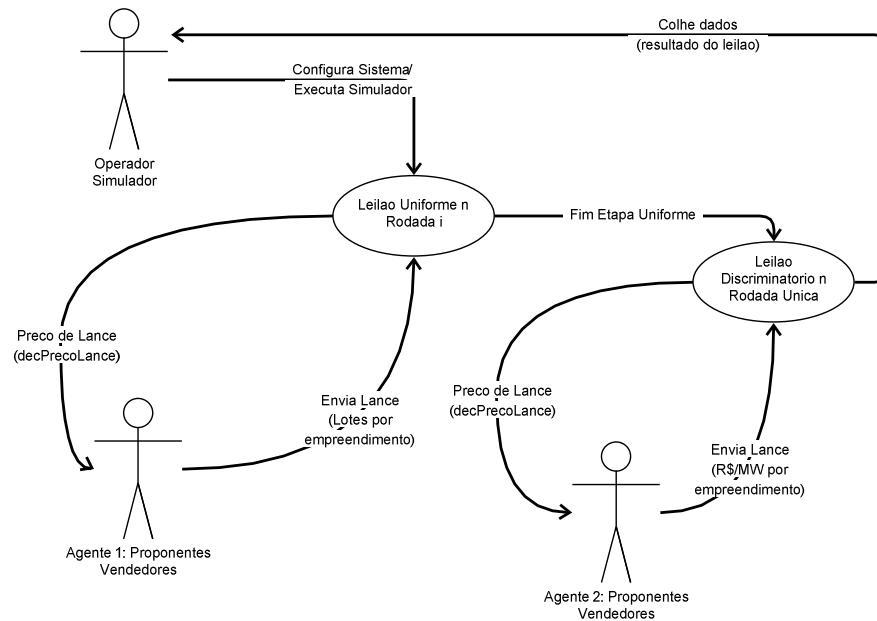
Já as entradas de dados de lances, dizem respeito as estratégias de todos demais proponentes vendedores (montagem do cenário estratégico), além da estratégia que está sendo testada. Para isto, se utilizará funções agentes que simularão as estratégias de cada proponente, previamente estabelecidas e cadastradas em arquivo de base de dados, que será tratada pelo agente, mediante as condições do leilão.

Figura 24 – Fluxograma do Simulador



Fonte: elaborado pelo autor

Para os agentes que se utilizarão no simulador (que farão o papel dos proponentes vendedores) é útil elaborar diagrama do simulador baseado nos agentes, como na Fig. 25. Este diagrama dá uma ideia de como o software computacional do simulador poderá ser modularizado em funções independentes.

Figura 25 – Diagrama Agentes do Simulador

Fonte: elaborado pelo autor

Agora pode-se apresentar o algoritmo em linguagem natural que será o código-fonte base para nosso simulador. Feita a coleta de informações iniciais (configurações) o simulador dá início as rodadas uniformes (leilão preço uniforme). Aplicado o decremento de preço, o agente 1 será responsável pela ação dos lances dos participantes (proponentes vendedores). Segue-se o cálculo de oferta do leilão (somatório dos lances) *versus* oferta referência (parâmetro do leilão). A nova rodada com aplicação de decremento será iniciada até que a condição seja atendida – é de se esperar que conforme o preço corrente do MWh for sendo reduzido, atingirá níveis inferiores a preços de reserva de alguns empreendimentos sendo que estes não mais apresentarão lances, reduzindo então a oferta de venda de energia.

Inicia-se então a rodada única discriminatória, a partir da coleta do preço corrente e quantidades ofertadas na penúltima³⁸ rodada uniforme, e aciona-se o agente 2 que simula o lance discriminatório dos proponentes. Faz-se então, o ordenamento dos lances (com isto temos a função demanda agregada, tal como apresentado no Gráf. 4, do capítulo 2) e aplica-se a restrição de demanda – quantidade de energia a ser comprada pelas distribuidoras de energia.

³⁸ Note aqui presente a característica do leilão de Vickrey – segundo preço.

ALGORITMO: SIMULADOR

```

1  coleta dados iniciais (preço inicial, etc);
2  define produto a ser leiloado;
3  início (inicia rodada uniforme)
4      informa decremento do preço;
5      recebe lances de quantidade de lotes (Agente 1);
6      se não recebe lance para o produto então
7          muda o produto e retorna para 3;
8      senão calcula quantidade demandada e ofertada;
9      se a oferta é menor que oferta referência então
10         encerra rodadas uniformes;
11     senão aplica decremento no preço corrente e retorna para 5;
12 fim (fim rodadas uniformes)
13 início (início leilão discriminatório rodada única)
14     coleta preço corrente da penúltima rodada uniforme;
15     coleta quantidades ofertadas da penúltima rodada uniforme;
16     recebe lance de preço dos proponentes (Agente 2);
17     se lance de algum proponente é maior que o preço corrente,
18     então solicita novo lance;
19     caso contrário ordena os lotes pelo preço de lance dos
proponentes;
20 fim (fim leilão discriminatório);
21 encerra o leilão;

```

Definido o algoritmo base do simulador, agora se estabelecerá o funcionamento dos agentes que simularão o comportamento dos participantes frente as cenários de simulação definidos. Assume-se que as decisões tomadas pelos agentes serão de dois tipos: para o leilão preço uniforme, o agente 1 e para o leilão discriminatório, o agente 2.

Dada a percepção de utilidade dos agentes (tomadores de decisões baseadas nas estratégias de participação nos leilões) avaliou-se como refletir as estratégias na função utilidade de cada participante. Optou-se pela utilização de lógica *fuzzy*³⁹, com atribuição de

³⁹ A lógica *fuzzy* está associada a utilização da teoria de conjuntos *fuzzy*, proposta pelo matemático polonês Jan Lukasiewicz, que utiliza faixas de valores intermediários de respostas, além das respostas booleanas 0 ou 1, para melhor aproximação da compreensão comportamento humano. Ela capta, através de faixas de valores, percepção qualitativas como “está muito alto” ou “um pouco alto”. A notação matemática utilizada por Lukasiewicz em

faixas de valores para conceitos subjetivos como “impacto muito alto em custo”, de tal forma que tais tabelas possam ser utilizadas para calibração do simulador. Isto é, para uma determinada aplicação de estratégia que considera-se tem alto impacto sobre preço da energia (que é o valor do lance) se determina uma faixa de valor a ser utilizada como multiplicador do redutor do valor do lance (lembrando que é um leilão de preço descendente). No capítulo 2 observaram-se cinco principais estratégias, quando analisaram-se os leilões brasileiros: economia de escala, economia de escopo (mercado ACL x ACR), custo de capital (financiamento de projetos de energia), redução de risco e estratégia de entrada.

Destas cinco principais estratégias, podemos detalhar algumas formas de aplicação de cada estratégia. Para economia de escala, se irá trabalhar com quatro aplicações que são em hidrelétricas em mesmo rio, aquisição de combustível para usinas térmicas, investimento em escala para um contingente maior de usinas ou estrutura burocrática na criação de uma corporação. A estratégia de economia de escopo é a diversificação do produto, com utilização além da venda no mercado ACR, no mercado ACL. Já a estratégia de redução de custo de capital, tal como visto no capítulo 3, é aplicada através da utilização de *project finance*.

Para aplicação de estratégia de redução de riscos há duas formas de aplicação: utilização de derivativos para venda de energia no mercado ACL (o que implica utilização daquela estratégia citada anteriormente), bem como a formação de alianças estratégicas. As estratégias de entrada serão aplicadas conforme o porte e a participação de mercado dos competidores, tal como apresentado no capítulo 3. Estabeleceu-se, então na Tab. 7, as 12 estratégias.

1920, inspirou em meados de 1950 o cientista australiano Charles Hamblin que criou a notação polonesa inversa (RPN, *reverse polish notation*), utilizada até hoje nas calculadoras HP12C.

Tabela 7 – Estratégias e Impactos em Preço e Risco

Id	Descrição	Características	Aplicação	Impacto no preço	Impacto no risco	Simulador
1	Economia de escala	Preço de reserva menor tendo em redução nos custos ou investimento.	Hidrelétricas no mesmo rio (2 lotes, possivelmente em 2 leilões diferentes);	Reduz Muito	Aumenta Muito	Por Empreendimento
2			Combustível para usinas termos (carvão, etc);	Reduz Muito	Reduz Muito	Por Empreendimento
3			Investimento em escala	Reduz Pouco	Reduz Pouco	Leilão
4			Estrutura burocrática corporativa	Reduz Pouco	-	Leilão
5	Economia de escopo: ACL x ACR sem derivativos	Venda parcial da energia a ser gerada pelo futuro empreendimento no mercado regulado ACR (através do leilão), a fim de destinar o restante ao mercado livre (ACL)	Ferramentas financeiras e maior grau de articulação; Estratégia combinada a mitigação de riscos	Reduz Muito	Aumenta Muito	Leilão
6	Economia de escopo: ACL x ACR com derivativos	Estratégia 5 com redução de risco pela utilização de ferramenta de derivativos	Utilização de derivativos de energia, para venda no ACL.	Reduz Muito	Anula	Leilão
7	Custo de capital	Utilização de capital de custo baixo para financiamento do empreendimento	Utilização de <i>project finance</i>	Reduz Muito	Reduz Pouco	Leilão
8	Alianças	Agregar parceiros na formação de um consórcio ou através de pré-contratos de fornecimento	Formação de aliança estratégica (para verticalização, por exemplo)	-	Reduz Pouco	Leilão
9	"Tudo ou nada"	Aplicar uma redução pré-fixada, pouco maior que o "gatilho" para finalizar leilão na primeira rodada.	Leilões discriminatórios com "gatilho", aplicando lance com pequena folga em relação ao "gatilho".	Reduz Muito	Aumenta Pouco	Discriminatório
10	Estratégia de entrada: Porte x Participação mercado	De acordo com o tamanho do competidor e seu apetite por mercado, ele define a agressividade da estratégia.	Pequenos se especializam e entram com valor de reserva baixo. Grandes não estabelecidos entram com valor de reserva baixo para ganhar mercado.	Reduz Muito	Aumenta Pouco	Leilão
11			Grandes estabelecidos aproveitam oportunidades.	Aumenta Pouco	Reduz Muito	Leilão
12			Grandes estabelecidos aumentam participação de mercado.	Reduz Muito	Aumenta Pouco	Leilão

Fonte: elaborado pelo autor

Para cada uma destas estratégias avaliam-se duas características de impacto de sua utilização: o impacto no preço e o impacto no risco. O primeiro parâmetro fará com que a curva da função utilidade esperada movimente-se verticalmente sobre o eixo das ordenadas, sendo que o segundo parâmetro terá impacto na concavidade da curva. A estes impactos em preço e risco, será atribuída uma tabela *fuzzy* de conversão que nada mais é do que a tradução de percepções (muito, pouco, etc) em valores numéricos que serão aplicados a função utilidade esperada, gerando então a função específica para cada característica de competidor. Desta forma, o simulador poderá ser calibrado utilizando-se ajustes nesta tabela. A tabela *Fuzzy* utilizada no simulador apresenta-se na Tab. 8.

Tabela 8 – Tabela *Fuzzy* de Impactos em Preço e Risco

Tipo (Preço ou Risco)	Proporção	Fator Multiplicação
Preço	Aumenta Muito	4%
Preço	Aumenta Pouco	2%
Preço	Reduz Pouco	-2%
Preço	Reduz Muito	-4%
Risco	Aumenta Muito	20%
Risco	Aumenta Pouco	10%
Risco	Reduz Pouco	-10%
Risco	Reduz Muito	-20%

Fonte: elaborado pelo autor

Esta tabela será utilizada da seguinte forma: para uma determinada estratégia utilizada na simulação, dentre as expostas na Tab. 7, faremos a leitura da coluna “Impacto no Preço”, que tem domínio bem definido: aumenta muito, aumenta pouca, reduz pouco ou reduz muito. Feito isto, teremos por referência o fator de multiplicação que será aplicado sobre o preço para aquela estratégia. O mesmo procedimento se repetirá para a coluna “Impacto no Risco”, fazendo a leitura da proporção se terá o fator de multiplicação correspondente a ser aplicado sobre o risco.

Nossa função utilidade esperada já está normalizada, com parâmetros mínimos e máximos. Assim, se aplicarão as estratégias como multiplicadores de tal forma que estes limites sejam respeitados. Uma forma de fazer isto é a utilização paramétrica dos multiplicadores. Por exemplo, se escolheu que a estratégia de economia de escala para hidrelétricas em mesmo rio tem impacto “aumenta muito” sobre o risco. Será definido que “aumenta muito” será convertido (ρ_2) com aplicação de um fator de multiplicação (α) sobre a diferença entre o valor atual de percepção do risco (ρ_1) e seu valor máximo ($\rho_{max}=1$). Assim, escreveremos matematicamente como:

(40)

$$\rho_2 = \rho_1 + \alpha(\rho_{\max} - \rho_1)$$

Desta forma garante-se que o valor máximo não será ultrapassado através da desaceleração com que é atingido, após sucessivas aplicações de estratégias (o limite superior será uma assíntota). A mesma parametrização será utilizada para o preço, onde convencionaremos utilizar variável p para preço e fator de multiplicação β . Temos então:

(41)

$$p_2 = p_1 + \beta(p_{\max} - p_1)$$

Segue-se para o estabelecimento dos parâmetros de configuração do leilão. Cada proponente vendedor deverá habilitar tantos empreendimentos quantos deseje participar. A cada empreendimento habilitado está associada uma capacidade de geração (e portanto venda) de energia elétrica, com unidade de medida MWh (representada por Q). Dadas a característica do empreendimento, o proponente vendedor está disposto a vender energia por um preço mínimo no mercado ACR, que será o limite para participação no leilão (lembrando do capítulo 1, chamamos de preço de reserva e denotaremos por Pr). Caso o proponente vendedor utilize as estratégias de economia de escopo 5 ou 6, com venda de parte da energia gerada no ACL, definiremos degraus intermediários para destinação ao outro mercado. Convencionou-se que o preço desejado de venda para o i -ésimo empreendimento será P_i , presente no início (ou primeiras rodadas) do leilão uniforme, quando então o proponente vendedor ofertará Q_i para venda no ACR. Conforme o leilão uniforme avança, o preço sofre decremento e atinge o nível inferior a P'_i . Quando isto ocorrer o proponente passará a ofertar $0,9 \cdot Q_i$ no mercado ACR. A redução continuará ocorrendo até o limite 70x30 ser atingido (70% a ser vendido no ACR e 30% no ACL, quando o preço corrente for inferior a P''_i). Repare que, por definição, há relação de ordem entre os preços, isto é:

(42)

$$P_i \geq P'_i \geq P''_i \geq Pr_i$$

Por fim, uma coluna que irá definir se serão utilizadas estratégias 1 ou 2, que são próprias ao tipo de usina que está sendo empregada (UHE ou UTE, respectivamente).

Tabela 9 – Array de Empreendimentos de um Proponente Vendedor

Id	Descrição	Q	P (100x0)	P' (90x10)	P'' (80x20)	Pr	S
1	Empreendimento 1	Q_1	P_1	P'_1	P''_1	Pr_1	s_1
2	Empreendimento 2	Q_2	P_2	P'_2	P''_2	Pr_2	s_2
:			:				
n	Empreendimento n	Q_n	P_n	P'_n	P''_n	Pr_n	s_n

Fonte: elaborado pelo autor

Necessita-se também configurar os proponentes vendedores a que estarão associados os empreendimentos. Incluiu-se dois parâmetros, sendo o primeiro deles que será utilizado para definir as estratégias de 11 a 13, que é o porte, e o segundo um fator de propensão a risco característico do proponente vendedor. Para o j -ésimo proponente vendedor, será aplicado um fator de risco A_j (entre 0,1 a 0,9) que será o risco básico característico, sobre o qual serão aplicados os fatores multiplicadores de acordo com as estratégias escolhidas.

Tabela 10 – Array de Proponentes Vendedores

Identificador	Descrição	Porte/Presença	Propensão Risco
1	Prop. Vendedor 1	Porte/Presença ₁	A_1
2	Prop. Vendedor 2	Porte/Presença ₂	A_2
:			:
N	Prop. Vendedor N	Porte/Presença _{N}	A_N

Fonte: elaborado pelo autor

Tem-se agora condições de estabelecer-se as características para o agente 1, que será responsável pelos lances durante a leilão uniforme. Este agente será executado tantas vezes quantos proponentes vendedores estiverem participando do leilão (neste caso N vezes). Como parâmetro básico de entrada, além das configurações, o agente recebe o preço corrente para aquela rodada do leilão. Como resultado fornecerá um vetor ($Lq(n)$, lance de quantidade) com n posições, correspondente ao número de empreendimentos habilitados para participação no

leilão. Convencione-se que não efetuar lance, será fornecer lance de quantidade zero, caso contrário o lance para o i -ésimo empreendimento será ofertado na i -ésima posição do vetor.

ALGORITMO: AGENTE_1

```

1  coleta preço corrente da rodada e define proponente (j);
2  para i de 1 até n;
3      se preço corrente e P(i) então
4          pEscopo = 1 ;
5      senão se P(i) > preço corrente e P'(i) então
6          pEscopo = 0.9 ;
7      senão se P'(i) > preço corrente e P''(i) então
8          pEscopo = 0.8 ;
9      senão se P''(i) > preço corrente e Pr(i) então
10         pEscopo = 0.7 ;
11     fim se (fim avaliação estratégia escopo)
12     se preço corrente < Pr(i) então
13         Lq(i)=0 ;
14     senão se proponente utiliza estratégias 5 ou 6 então
15         Lq(i)= Q(i) * pEscopo ;
16     senão
17         Lq(i)= Q(i);
18     fim se
19 fim para

```

O agente 2 será responsável pelo lance único do leilão discriminatório, que será o preço unitário para cada unidade ofertada no leilão uniforme, para cada empreendimento que ainda participa do leilão. Como parâmetros de entrada ter-se-ão o preço corrente da última rodada do leilão uniforme e o vetor $Lq(n)$, sendo que associado a ele será fornecido pelo agente um vetor de preços $Lp(n)$, onde se convencionará utilizar $Lp(i)=0$ para $Lq(i)=0$ (isto é, o agente fornecerá preço zero para os empreendimentos que não estão mais participando do leilão). O funcionamento do agente 2 será dado pela curva de utilidade (função utilidade esperada) para o proponente vendedor, que já tem uma linha base dada pela curva de preços de reserva dos empreendimentos. Esta curva será o limite, por definição, para a nova curva que será dada por Lp . Se criará uma matriz ordenamento ($d(2,m)$) onde estarão presentes somente os m empreendimentos (nas m linhas) onde $Lq(i)$ não for nulo, com sua identificação na coluna 1, e o preço de reserva do empreendimento na coluna 2. Isto é:

(43)

$$d(1,k) = \{ i, \forall Lq(i) \neq 0 \}$$

$$d(2,k) = \{ Pr(d(1,k)) \}$$

Feito isto o ordenamento decrescente será feito sobre a coluna 2. Para parametrização da nova curva de lances, se utilizará o preço corrente como maior valor associado ao empreendimento de maior valor de preço de reserva ($d(1,1)$) – uma espécie de ancoragem da curva. Na outra extremidade ($d(1,m)$), será utilizado o preço de reserva. Se traçará então a curva entre as duas extremidades, através da função utilidade esperada (onde já estão presentes as estratégias do proponente vendedor), como parametrização. É esperado que a área⁴⁰ entre as curvas, para os lances vencedores, seja a maximização lucro (benefício) do participante. Isto é:

(44)

$$\Pi = \sum_{k=1}^m (Lp(d(1,k)) - d(2,k)), \forall k \text{ lance vencedor}$$

Segue o algoritmo para o agente 2 em linguagem natural.

ALGORITMO: AGENTE_2

```

1  coleta preço corrente e  $Lq(n)$ , define proponente ( $j$ ), seta  $c=0$ 
2  para  $i$  de 1 até  $n$ ;
3      se  $Lq(i) \neq 0$  então
4          incrementa contador  $c$  ;
5           $d(1,c) = i$  ;
6           $d(2,c) = Pr(i)$  ;
7      fim se
8  fim para
9  ordena decendente linhas pela coluna 2 ;
10 inicializa  $Lp(n)=0$  ;
11 para  $i$  de 1 até  $c$ ;
12      $Lp(d(1,i)) = U(j, \text{preço corrente}, d(2,c), c)$  ;
13     se  $Lp(d(1,i)) < d(2,i)$  então
14          $Lp(d(1,i)) = d(2,i)$ ;
15     fim se

```

⁴⁰ Ver Gráf. 26 a seguir.

16 fim para

A escolha da função utilidade esperada se deu pela equação (15) dadas suas características⁴¹. Esta função será utilizada em dois momentos, com aplicação um pouco diferenciada. Na preparação da base dados, a função será aplicada para gerar os preços de reserva, dados os empreendimentos escolhidos, perfil de risco do investidor e aplicação de estratégias iniciais – o que se verá na seção seguinte. Porém na fase discriminatória a função também será aplicada para a escolha do vetor de lances discriminatórios.

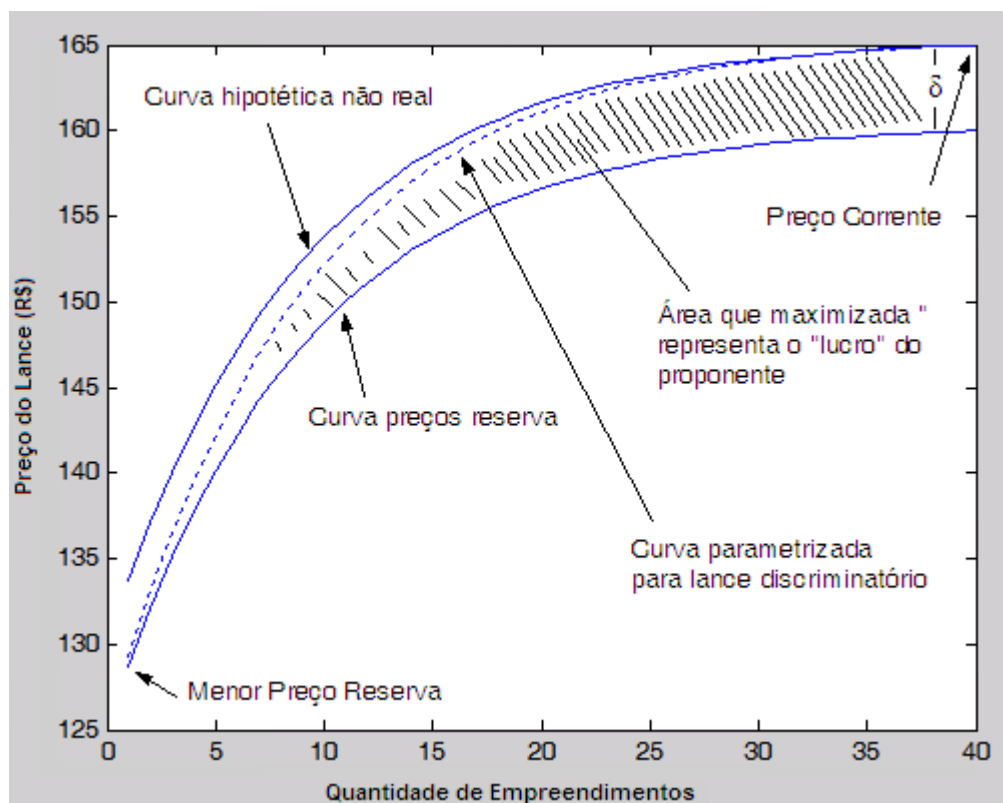
Assim se explica: suponha que o proponente inicie o leilão com oferta de 60 empreendimentos. O preço de reserva destes empreendimentos será dado de acordo com suas preferências, na configuração inicial do leilão. Durante o leilão preço uniforme (supondo que ocorra no mínimo uma rodada), o preço corrente após sucessivas aplicações de decremente, atingirá nível inferior aos maiores preços de reserva (dada a função de demanda agregada, que reúne todos os lances de todos participantes). Assim, em nosso caso hipotético digamos que 20 empreendimentos sejam excluídos do certame durante o leilão de preço uniforme. Como então, será feito o vetor de lances discriminatórios para os 40 empreendimentos que restaram? Nota-se que o preço corrente do leilão está superior a curva formada pelo preços de reserva dos 40 empreendimentos remanescentes no leilão.

Uma escolha simples seria elevar a curva de preferências, adicionando a todos preços de reserva a diferença (δ) entre o maior preço de reserva remanescente e o preço corrente. Porém esta curva não representará a preferência real do proponente. Ele deseja, sim, em última instância, atingir o preço de reserva ao menos para um empreendimento (o último remanescente, se for o caso). Porém fazer com o lance discriminatório seja explicitamente a curva de preços de reserva não maximiza seu retorno. Assim, a escolha deu-se pela parametrização de uma nova curva que intersecta estes dois pontos e é parametrizada pela função utilidade esperada, de tal form que a diferença (δ) vá reduzindo até ser anulada e

⁴¹ Note que dada a estrutura do simulador podemos facilmente adaptá-lo a aplicação de nova função utilidade, com objetivo portanto, de comparação entre diferente funções utilidade.

atingir o preço de reserva mínimo do participante. Apresentam-se no Gráf. 26⁴² estes elementos, com preço corrente 165, maior preço de reserva 160 (e portanto $\delta = 5$), menor preço de reserva 128, 40 empreendimentos (optou-se pela utilização de coeficiente de risco $\rho=0,1$, demonstrando uma concavidade mais acentuada).

Gráfico 26 – Curva Parametrizada Lance Discriminatório



Fonte: elaborado pelo autor

Assim, se terá dois algoritmos independentes, porém que aplicam a mesma função utilidade, com parametrizações diferentes. Segue-se agora, com a montagem dos cenários de simulação, através da escolha dos ambientes de competição estratégicos e posterior geração de bases de dados.

⁴² Por uma questão de conveniência visual, optou-se por utilizar a plotagem contínua, mas fica claro que é uma função discreta (espécie de escada, neste caso, com 40 degraus).

4.3 Cenários para Simulação

Com o simulador desenvolvido, agora serão estabelecidas as bases de dados que formarão os cenários de simulação, que são os conjuntos de parâmetros que aplicados em conjunto, formarão cada cenário de simulação. Analisados os cenários de disputas por hidrelétricas ou térmicas, disputa por entrada em mercado e algumas combinação de estratégias. Em cada um dos cenários, utilizar-se-ão conjuntos de estratégias combinadas, como melhor aproximação do cenário real.

A proposição de bases de dados é a pura aplicação da função utilidade esperada escolhida para este trabalho, estabelecido um conjunto de fatores ambientais através das variáveis participantes, tendo como fatores adicionais a aplicação das estratégias – que tem impacto na curva gerada pelos preços de reserva dos empreendimentos, influenciada pelo preço (movimento vertical) e risco (concavidade da curva). É a primeira etapa da simulação, que já propicia resultados imediatos através do comparativo direto entre as curvas.

Caso se deseja analisar indiferença de pontos de vista do risco entre os participantes (ou seja, todos terem o mesmo nível de percepção do risco), e também eliminar as estratégias de escopo, o problema poderá ser resolvido utilizando programação linear, analisando-se máximos e mínimos com somente esta etapa de simulação⁴³.

4.3.1 Cenário 1: Certame UHE e UTE

Se definirá um conjunto de participantes associados a algumas estratégias para cada qual, a fim de gerar as bases de dados de lances. Inicialmente se escolhe dois proponentes, cada qual com 20 empreendimentos, porém com diferentes níveis de percepção de risco ($\rho=0,2$ e $\rho=0,5$, respectivamente). Foi eleito também um terceiro participante que conseguiu aplicar uma vez a estratégia de escala em empreendimento hidrelétrico, e o quarto, que

⁴³ Isto é facilmente constatado aplicando-se estas características na execução do simulador.

conseguiu aplicá-la 5 vezes., ambos com nível de percepção de risco $\rho=0,4$. Se inclui também no cenário um quinto competidor, que apresenta proposta de termelétrica (rememorando os leilões de 2007 e 2008, com etapas hidro e outras fontes), porém com número menor de empreendimentos, neste caso, 10. Porém ele consegue aplicar a estratégia de escala para 6 dos empreendimentos termo. Este, todavia, tem percepção menor de risco com $\rho=0,1$, porém as usinas UTE terão metade da capacidade das UHE ofertadas pelos competidores de 1 a 4.

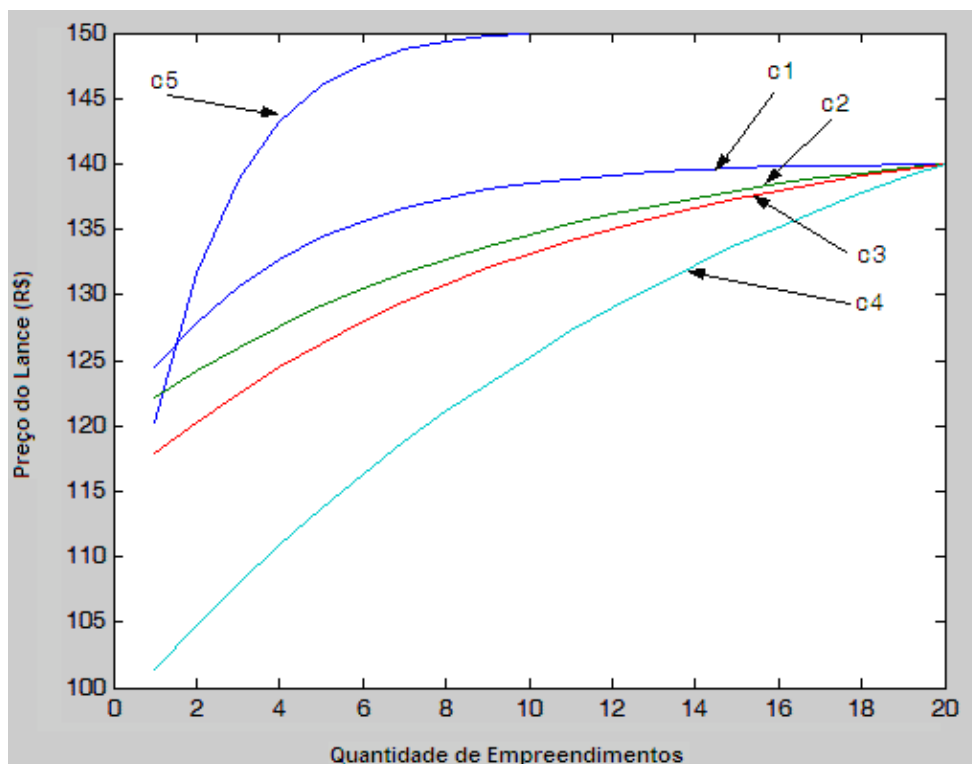
Tabela 11 – Dados para Geração do Cenário 1

Id	Empr.	Fonte	Pr Mín	Pr Máx	Q (MWh)	Estratégias	Perfil Risco
c1	20	Hidro	120	140	100	[Ø]	0,2
c2	20	Hidro	120	140	100	[Ø]	0,5
c3	20	Hidro	120	140	100	[1]	0,4
c4	20	Hidro	120	140	100	[1 1 1 1 1]	0,4
c5	10	Termo	130	150	50	[2 2 2 2 2 2]	0,1

Fonte: elaborado pelo autor

A proposição dos *ranges* de preços iniciais base será equalitária para todos os empreendimentos hidrelétricos (competidores 1 a 4), com níveis entre 120 e 140, e diferenciada para o quinto competidor que propõe uma energia de fonte mais cara, com níveis então ente 130 e 150. Vemos no Gráf. 27 o comparativo entre as 5 curvas de preços de reserva, sendo que as tabelas originárias estão no Apêndice D, Tab. 17.

Gráfico 27 – Cenário de Simulação 1: Hidros e Termos



Fonte: elaborado pelo autor

Pode-se notar como o empreendimento termo, dada as características da estratégias, consegue se aproximar e torna-se bem competitivo frente aos empreendimentos hidros. Outro fator que chama a atenção em relação aos competidores c1 até c4 é o incremento gradual do risco. Nota-se que o conjunto de estratégias de c4 aplicada em excesso, neste caso desnecessário, causa uma exposição muito grande ferindo o retorno esperado pelo investidor. Quanto a avaliação do simulador, a implementação do algoritmo de estratégias em formato de vetor de possibilidades, realizada após os primeiros experimentos através de um *loop*, permitiu uma boa flexibilidade com a possibilidade aplicar seguidas vezes uma mesma estratégia.

Este cenário, no que diz respeito a comparação termo *versus* hidro, procurou reproduzir em parte o ocorrido no leilão A-3 2007, onde não houve as usinas termelétricas foram as vencedoras do certame. Há uma explicação estratégica para o fato ocorrido, que é a alta mitigação de risco que este tipo de usina propicia, dado seu bom arrançamento e negociação do fator de maior impacto em custo de fornecimento: o combustível. Adicionalmente a

exposição do risco feita por c5 procura demonstrar o ocorrido no Rio Madeira, com as usinas Santo Antônio e Jirau, exclusivamente⁴⁴ no que diz respeito a risco.

4.3.2 Cenário 2: Disputa por Entrada e Estratégias Financeiras

Nesta proposição se analisa o comportamento de diferentes agentes dado seu porte frente ao desafio de adentrar ao novo mercado, concorrente com participantes já estabelecidos. A luta por entrada em um mercado, e manutenção deste, é uma caso clássico de estudo em economia. Escolheu-se avaliar, segundo os dados analisados, três posições que seriam: participantes de grande porte já estabelecidos e não estabelecidos, além de pequenos participantes entrantes.

No primeiro caso, se assumirá um número reduzido de competidores, com característica principal de forte proteção, implicando em baixa exposição a risco, dada sua posição mais confortável. O segundo tipo de participante, também em número reduzido, pela menor experiência e também pelo apetite de ingressar no novo mercado assumirá mais riscos. O pequeno investidor apesar de seu pouco alcance de investimentos, consegue identificar oportunidades específicas onde há uma oportunidade não tão clara, e aproveitá-la.

Tem-se então um certame onde 2 participantes grandes estabelecidos (c1 e c2) manterão sua posição frente a investida de 3 novos proponentes (c3, c4 e c5) com apetites de risco maiores, e uma pulverização de 6 pequenos entrantes (c6 a c11). Se atribuiu a c1 a estratégia de custo de capital e um apetite por aumento de participação de mercado; c2 por sua vez utilizar-se-á de alianças como estratégia principal e aproveitará oportunidades caso elas apareçam (atitude conservadora). Aos entrantes c3 e c4, serão aplicadas as mesmas estratégias de seus concorrentes estabelecidos, respectivamente. Atribuído do conjunto destas duas estratégias, c5 terá o mesmo apetite de risco de c3 e c4, que será $\rho=0,3$, ante $\rho=0,2$ de c1 e c2.

⁴⁴ O leilão de lance único discriminatório conforme aplicado no Rio Madeira e no leilão de Belo Monte não foram explicitamente simulados utilizando o mesmo simulador. Faz-se necessário um conjunto de ajustes mais expressivo para adaptá-los.

Os pequenos participarão do certame com diferentes níveis de preço de reserva, onde haverá praticamente uma seleção natural do mais posicionado.

Tabela 12 – Dados para Geração do Cenário 2

Id	Empr.	Pr Mín	Pr Máx	Q (MWh)	Estratégias	Perfil Risco
c1	10	120	140	100	[7 12]	0,2
c2	10	120	140	100	[8 11]	0,2
c3	10	120	140	100	[10 7]	0,3
c4	10	120	140	100	[10 8]	0,3
c5	10	120	140	100	[10 7 8]	0,3
c6	2	120	140	10	[10]	0,2
c7	2	115	140	10	[10]	0,2
c8	2	125	140	10	[10]	0,2
c9	2	110	140	10	[10]	0,2
c10	2	135	140	10	[10]	0,2
c11	2	105	140	10	[10]	0,2

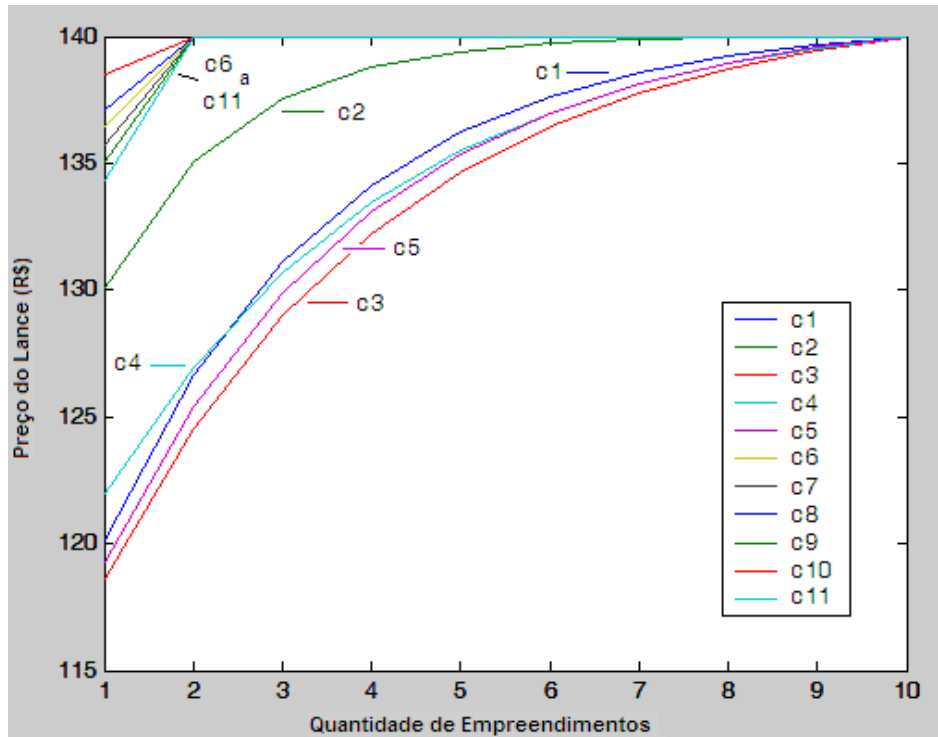
Fonte: elaborado pelo autor

No Gráf. 28 podemos analisar visualmente os resultados do certame, que estão apresentados em sua forma tabular no Apêndice D, Tab. 18, com fácil constatação de que os pequenos terão a sua chance de acordo com seu preço de reserva, que deve primar por ser baixo. O proponente c2, como era de se esperar, se distanciou bastante dos demais, dado a escolha por proteção. A boa oportunidade, neste caso hipotético, aparecerá se a soma dos lotes (MWh) do 4 primeiros competidores não atingir a demanda para o leilão, onde nota-se, no gráfico, um ponto limite de 3 empreendimentos por participante, que seria algo em torno, neste caso, de 1,2GHh. A partir deste nível de demanda c2 tem sua oportunidade.

Há uma disputa travada entre c1, c4 e c5, muito em função de diferentes percepções de risco, que será o ponto decisor sobre qual adicionará incrementos marginais de retorno preferencialmente, dada sua posição na curva – e impactada também diretamente pela

demanda. O terceiro competidor, c3, encabeça as preferências para uma demanda baixa, tendo em visto as estratégias utilizadas.

Gráfico 28 – Cenário de Simulação 2: Disputa por Entrada e Estratégias Financeiras



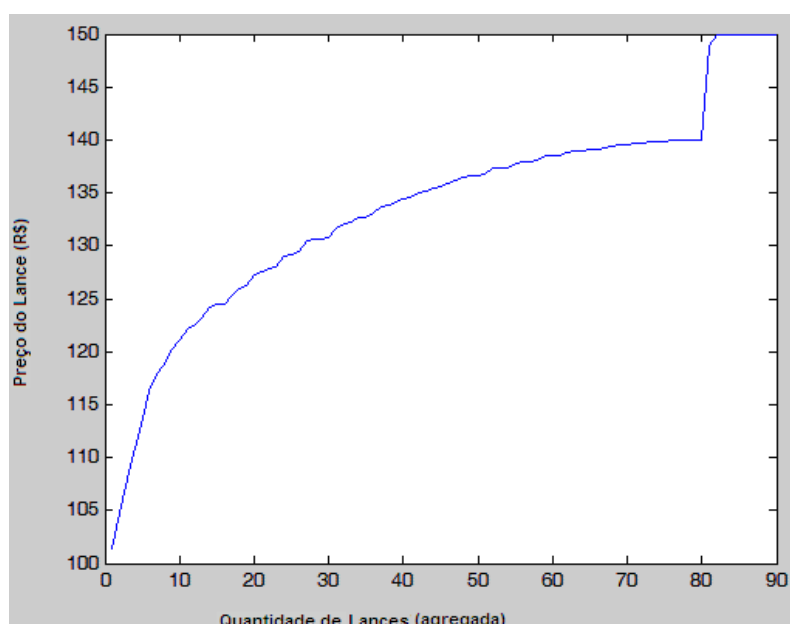
Fonte: elaborado pelo autor

Este cenário, no que diz respeito aos pequenos entrantes, evidencia os dados do Apêndice B, que são tabelas mais extensas de resultados de três leilões, onde isoladamente aparecem competidores de menor porte, em meio a outros competidores maiores – entrantes e estabelecidos – em casos de fontes eólicas, por exemplo. Nota-se, comparativamente, a similaridade das curvas expressas nos Gráf. 13 e 14, da seção 2.3, com os gerados pelo simulador.

4.4 Exercício de Simulação e Resultados

Viu-se na seção anterior, como gerar os dados para a curva dos preços de reserva. Nesta seção se aplicam também as estratégias de economia de escopo e para isto será necessário definir além de P_r , também P' e P'' . Escolheu-se, para este exercício, aplicar um incremento de uma unidade sobre P_r a fim de gerar P' , e da mesma forma para P'' .

Gráfico 29 – Curva Lances versus Valor Lance



Fonte: elaborado pelo autor

Dito isto, executa-se o simulador para o cenário 1 proposto na seção anterior, que nos leva a curva expressa no Gráf. 29, inicialmente numa proposição de excesso de demanda, com 9.000 MWh (a tabela completa, que gerou a curva, está no Apêndice D, Tab. 20). Observa-se a curva acentuada no início, propiciada pelos competidores com maior apetite ao risco.

Se reduz-se a restrição de demanda para 1.200 MWh podemos observar como se dá a aplicação da estratégia de economia de escopo durante o leilão, sendo que neste caso c4 demonstra-se o grande vencedor do leilão abocanhando 9 empreendimentos, dada sua estratégia agressiva. Fez-se um exercício adicional, com a redução do fator de risco para $\rho=0,1$

(visando maximizar o retorno) e pode-se observar que dado o distanciamento da curva de c_4 , não alterando o resultado do leilão, porém aumentando o retorno (π) para o investidor. No resultado final, o aumento de retorno se dá na casa de 5,23 unidades monetárias para cada 9 MWh negociado – um incremento de 0,5% que, dadas as taxas de rentabilidade deste negócio, representa uma grande diferença no VPL do negócio.

Tabela 13 – Lances Cenário 1, Oferta Referência 1.200 MWh

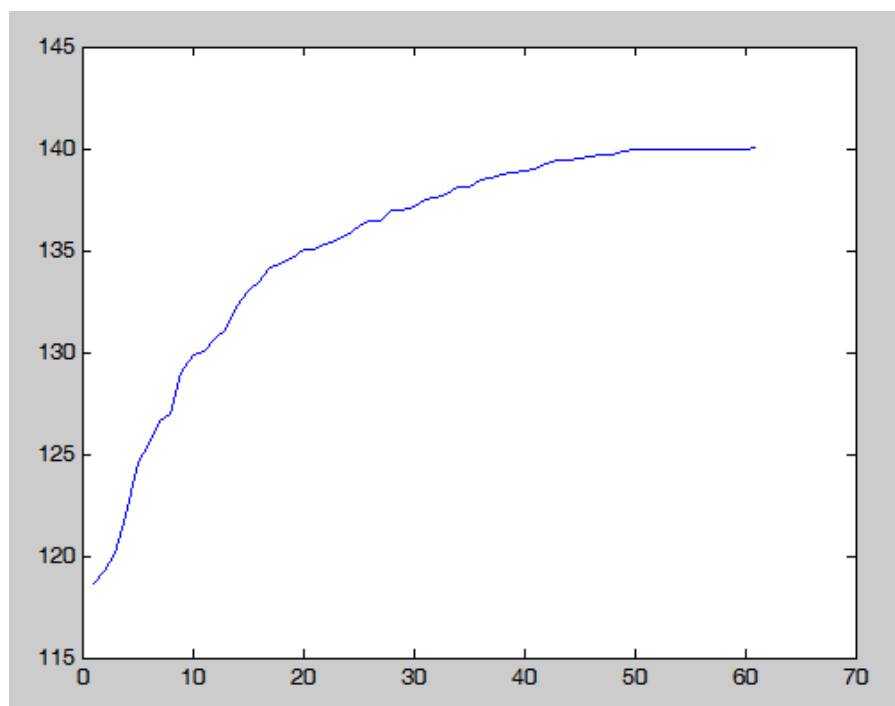
$\rho=0,4$				$\rho=0,1$				
Prop.	Empr.	ACR (MWh)	Lance	Prop.	Empr.	ACR (MWh)	Lance	π
4	1	90	101,42	4	1	90	101,65	0,23
4	2	90	104,77	4	2	90	105,2	0,43
4	3	90	107,93	4	3	90	108,5	0,57
4	4	90	110,89	4	4	90	111,58	0,69
4	5	90	113,68	4	5	90	114,45	0,77
4	6	90	116,3	4	6	90	117,12	0,82
3	1	90	117,86	3	1	90	117,86	0
4	7	90	118,75	4	7	90	119,61	0,86
3	2	90	120,28	3	2	90	120,28	0
4	8	90	121,07	4	8	90	121,93	0,86
2	1	80	122,2	2	1	80	122,2	0
3	3	80	122,48	3	3	80	122,48	0
4	9	70	123,24	4	9	70	123,24	0
Total		1130		Total		1130		5,23

Fonte: Elaborado pelo autor

Já no cenário 2 de simulação, a execução do simulador permitirá, em última instância, conhecer a função oferta agregada, para todos competidores. Supõe-se, inicialmente, um excesso de demanda (15GWh), sendo que todos as ofertas de venda sejam atendidas. Apesar de atribuir-se a todos competidores aplicação de estratégia de economia de escopo (venda no mercado ACL), este mecanismo não será acionado pelo simulador, tendo em vista o excesso de demanda. O resultado ficará como no Gráf. 30, onde observa-se uma curva não suave tendo

em vista as variações de percepções de risco dos proponentes (a tabela completa está no Apêndice D, Tab. 19).

Gráfico 30 – Exercício de Simulação: Curva de Lances Cenário 2



Fonte: elaborado pelo autor

Segue-se com um novo exercício que é a restrição de demanda, que deverá acionar a estratégia de economia de escopo. Reduz-se a demanda total para 1600MWh e observa-se no comportamento dos proponentes o acionamento da estratégia de economia de escopo. Nesta caso, o um dos participantes pequenos consegue, aplicando a estratégia de escopo, sagrar-se vencedor com uma usina de 7 MWh. Os dados estão presentes na Tab. 14.

Tabela 14 – Lances Cenário 2: Oferta Referência 1.600 MWh

Prop.	Empr.	ACR (MWh)	Lance
3	1	90	118.62
5	1	90	119.24
1	1	90	120.13
4	1	90	121.97

3	2	90	124.56
5	2	90	125.44
1	2	90	126.65
4	2	90	126.98
3	3	90	128.97
5	3	90	129.88
2	1	90	130.06
4	3	90	130.7
1	3	90	131.09
3	4	90	132.23
5	4	80	133.06
4	4	80	133.44
1	4	70	134.13
11	1	7	134.37
3	5	70	134.64
Total		1567	

Fonte: Elaborado pelo autor

Há uma série de possibilidades de cruzamento de estratégias e cenários de simulações em que pode-se utilizar recursos computacionais numéricos para análise de ambiente competitivo. O simulador mostrou-se capaz de representar bem, naquilo que se propõe. Encerra-se aqui o exercício de simulação.

5 CONCLUSÃO

Responder qual é a melhor estratégia a utilizar em um leilão pode parecer uma resposta trivial: em um leilão descendente, utiliza-se o menor preço possível que se deseja pagar. Ou seja, um problema de minimização-maximização. Porém quando o mecanismo de leilão é mais complexo, envolvendo mais de uma unidade, diferentes tipos de lances, entre outras variáveis, a resposta não é tão simples.

A inclusão de variáveis como lances de quantidade, onde é possível durante a execução do leilão mudar a oferta, dois tipos de negociações combinados, e outras características adicionam graus de complexidade ao problema onde não mais é possível tomar uma decisão – escolher o preço a ofertar no lance – de uma forma simples. Um leilão de concessão para geração de energia trata da negociação de um objeto de elevado grau de investimentos e, portanto, é cercado de um grande conjunto de estudos a fim de mitigar os riscos envolvidos e sagrar-se vencedor no certame. Este tipo de investimento é de longo-prazo, e portanto carece de ferramentas de planejamento desenvolvidas, com alto grau de especialização.

No Brasil, o mercado de energia elétrica tem tido impulso dado o crescimento econômico que ora mantém-se constante, e pode-se observar algum grau de organização, com planejamento de longo-prazo realizado e gerenciado pelo Estado, através de seus agentes. A utilização do mecanismo de leilão tem se mostrado eficiente a cada ano que passa – parece haver algum aprendizado de todo o sistema, tanto por parte dos órgãos governamentais quanto dos entes privados. E a utilização de ferramentas para auxílio no planejamento contribui para este desenvolvimento.

Parece ficar claro que leilões do tipo preço-uniforme se comportam bem em um ambiente onde há grande número de participantes e um certo grau de clareza nas informações disponíveis. Por outro lado, quando há um número reduzido de competidores, um leilão discriminatório parece gerar um ambiente de melhor negociação, no sentido de eficiência para o leiloeiro. A combinação de um leilão do tipo preço-uniforme, com um leilão

discriminatório, nesta ordem, parece fazer com o primeiro atue como um funil, reduzindo o número de competidores, para a execução do segundo. Em outros casos, quando não há possibilidade de participação de um grande número de competidores, tem-se visto que o leilão discriminatório é aplicada diretamente – para concessão de linhas de transmissão, há restrição física a novos competidores, em leilões específicos como o caso do Rio Madeira e Belo Monte, por exemplo.

Participar com sucesso destes ambientes de negociação está diretamente relacionado a conhecer bem estes mecanismos. Neste sentido um simulador elaborado através de um software computacional apresenta-se como uma ferramenta viável para analisar dezenas, centenas ou milhares de possibilidades, onde uma pessoa ficaria limitada sem tal tipo de apoio. Porém, para correta aplicação, se faz necessário uma avaliação profunda dos conceitos envolvidos.

O simulador *slmDjusto*, elaborado com estrutura de agentes, apresentou boa flexibilidade para teste de estratégias de diversos tipos, isoladamente ou combinadas. A escolha da função utilidade para os cenários de simulação deu-se pelas características avaliadas, porém nada impede que seja facilmente substituída dada a forma modular do simulador. A criação de telas ou interfaces de fácil operação para usuários leigos em programação, poderá viabilizar a utilização da ferramenta em laboratórios computacionais para estudantes de estratégia, teoria de jogos e microeconomia em geral.

Identificou-se, na etapa de exercício de simulação, no mínimo mais de uma dezena de cenários possíveis para futuros estudos: função risco variável conforme etapa do leilão, conforme nível de preço praticado, ou ainda conforme número de empreendimentos em jogo, variações de estratégia de escopo com aumento de oferta (além do caso exercitado de redução de oferta), estratégias combinados entre leilão uniforme e leilão discriminatório, inclusão de variável de para análise de sinalização e assimetria de informação entre os participantes.

REFERÊNCIAS

ACENDE, **Instituto Acende Brasil**. 1º Leilão de Fontes Alternativas – Análise Pós Leilão realizado em 18/06/2007. Disponível em: <http://www.acendebrasil.com.br/archives/files/Analise_pos_leilao_1o_leilao_Fontes_Alternativas.pdf>. Acesso em 26/07/2011.

_____. 4º Leilão de Energia Nova – A-3 – Análise Pós Leilão realizado em 26/07/2007. Disponível em: <http://www.acendebrasil.com.br/archives/files/Analise_pos_leilao_4o_leilao_Energia_Nova.pdf>. Acesso em 26/07/2011.

_____. 5º Leilão de Energia Nova - A-5 – Análise Pós Leilão realizado em 16/10/2007. Disponível em: <http://www.acendebrasil.com.br/archives/files/Analise_Pos_5o_Leilao_Nova_A5.pdf>. Acesso em 26/07/2011.

_____. Leilão da Usina de Santo Antônio – Análise Pós Leilão realizado em 10/12/2007. Disponível em: <http://www.acendebrasil.com.br/archives/files/Analise_Pos_SantoAntonio_Rev_02.pdf>. Acesso em 26/07/2011.

_____. Leilão da Usina de Jirau – Análise Pós Leilão realizado em 19/05/2008. Disponível em: <http://www.acendebrasil.com.br/archives/files/Analise_Pos_Jirau_Rev_02.pdf>. Acesso em 26/07/2011.

_____. 1º Leilão de Reserva – Análise Pós Leilão realizado em 14/08/2008. Disponível em: <http://www.acendebrasil.com.br/archives/files/20080814_Analise_Pos_Leilao_Reserva_Rev4.pdf>. Acesso em 26/07/2011.

_____. 6º Leilão de Energia Nova – A-3 – Análise Pós Leilão realizado em 19/07/2008. Disponível em: <http://www.acendebrasil.com.br/archives/files/20080917_Analise_Pos_6oLeilao_Nova_A3_Rev2.pdf>. Acesso em 26/07/2011.

_____. 7º Leilão de Energia Nova – A-5 – Análise Pós Leilão realizado em 30/09/2008. Disponível em: <http://www.acendebrasil.com.br/archives/files/20080930_Analise_Pos_7oLeilao_Nova_A5_Rev3.pdf>. Acesso em 26/07/2011.

_____. 8º Leilão de Energia Nova – A-3 – Análise Pós Leilão realizado em 27/08/2009. Disponível em: <http://www.acendebrasil.com.br/archives/files/20090827_Analise_Pos_8oLeilao_Nova_A3_Rev1.pdf>. Acesso em 26/07/2011.

_____. 2º Leilão de Energia de Reserva – Eólica – Análise Pós Leilão realizado em 14/12/2009. Disponível em: <http://www.acendebrasil.com.br/archives/files/200912114_Analise_Pos_Eolica_Rev3.pdf>. Acesso em 26/07/2011.

_____. Leilão da Usina de Belo Monte – Análise Pós Leilão realizado em 20/04/2010. Disponível em: <http://www.acendebrasil.com.br/archives/files/20100420_AnalisePos_BeloMonte.pdf>. Acesso em 26/07/2011.

_____. Leilão A-5 Hídrica – Análise Pós Leilão realizado em 30/07/2010. Disponível em: <http://www.acendebrasil.com.br/archives/20100730_AnalisePos_A5_Rev4.pdf >. Acesso em 26/07/2011.

_____. 3º Leilão de Energia de Reserva, 2º Leilão de Fontes Alternativas – Biomassa, Eólica, PCH – Análise Pós Leilão realizado em 25 e 26/08/2010. Disponível em: <http://www.acendebrasil.com.br/archives/files/20100827_AnalisePos_EReservaFAlternativas_Rev2.pdf >. Acesso em 26/07/2011.

ANEEL. Relatório ANEEL 10 Anos. Rio de Janeiro: Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>, 2008.

_____. Edital Do Leilão No 04/2011-Aneel, Processo No 48500.000981/2011-41. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>, 2011.

ARNOT, R. **William Vickrey: Contributions to Public Policy**. Chesnut Hill: International Tax and Public Finance, 5, p. 93–113, 1998.

BESANKO, D. et al. **A Economia da Estratégia**. Porto Alegre: Bookman, 2006, 3 ed. Cap. 2, p. 92-122.

BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social. **Apoio Financeiro: Project Finance**. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Produtos/Project_Finance/>. Acesso em 16 mai. 2011.

BONOMI, C. A., MALVESSI, O. **Project Finance no Brasil: Fundamentos e Estudo de Casos**. São Paulo: Atlas, 2008. 3. ed. Cap.4, p. 260.

BORGES, L. F. X. Project Finance E Infra-Estrutura: Descrição E Críticas. **Revista do BNDES**, n. 9, jun.1998.

BORTOLOSSI, H., GARBAGIO, G., SARTINI, B. **Uma Introdução à Teoria Economica dos Jogos**. Rio de Janeiro: IMPA, 2007. Cap. 2, p. 10-59.

CAMPBELL, D. E. **Incentives Motivation and the Economics of Information**. New York: Cambridge University Press, 2 ed. 2006.

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Resultados de Leilões**. Disponível em: <<http://www.ccee.org.br>>. Acessado em 2011.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Leilões de Geração de Energia**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acessado em 2011.

FARIA, V. C. de S. **O Papel do Project Finance no Financiamento de Projetos de Energia Elétrica: Caso da UHE Cana Brava**. 2003. 167f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético): Rio de Janeiro, UFRJ.

FELIZATTI, H. L. **Teoria de derivativos aplicada ao mercado de energia elétrica brasileiro: Avaliação e gestão de risco de contratos contendo flexibilidades**. 2008. 348f. Dissertação (Mestrado em Estatística): UNICAMP, Campinas.

FIGHT, A. **Introduction to Project Finance**. Oxford: Butterworth-Heinemann, Elsevier, 2006. Cap.3, p. 81-111.

FORTUNA, E. **Mercado Financeiro: Produtos e Serviços**. Oxford: Qualitymark, 16 ed. 2005. Cap.6, p.277.

GIBSON, R. **Game Theory for Applied Economists**. Princeton: University Press. 1992. Cap.1, p.31.

GWEC. Análise do marco regulatório para geração eólica no brasil. Março de 2011. Disponível em:<http://www.gwec.net/fileadmin/documents/Publications/analise_do_marco_regulatorio_para_geracao_eolica_no_brasil.pdf>, Acesso em 20/06/2011.

JUNIOR, H. Q. P. et al. **Economia da Energia**. Rio de Janeiro: Elsevier-Campus, 2007. Cap. 3, p. 129-230.

HARFORD, T. **O Economista Clandestino**. Tradução por Fernando Carneiro. Rio de Janeiro: Record, 2 ed., 2007. Cap. 7, p. 189-212.

HULL, J.C., **Fundamentos dos Mercados Futuros e de Opções**, São Paulo: BM&FBovespa - Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros, 4.ed., 2009.

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

KRISHNA, V. **Auction Theory**. New York: Academic Press – Elsevier Science, 2002.

LAFFONT, J. e TIROLE, J. **A Theory of Incentives in Procurement and Regulation**. Massachusetts: The MIT Press, 4 ed. 1999.

LIMA, E. L. **Curso de Análise vol. 1**. Rio de Janeiro: Associação Nacional de Matemática Pura e Aplicada - IMPA, 10 ed. 2002. Cap. 6, p.162.

LUCKING-REILEY, D. **Vickrey Auctions in Practice: From Nineteenth Century Philately to Twenty-first Century E-commerce**. Nashville: Journal of Economic Perspectives, 2000.

MASILLI, G. S. **Metodologia e software para simulação de leilões de energia elétrica do mercado brasileiro**. 2004. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), UNICAMP, Campinas.

MCMILLIAN, J. e MCAFEE, R. **Analyzing the Airwaves Auction**. Journal of Economic Perspectives 1996, 10, 1, pp. 159-75.

MORITZ, R. **Metodologia de cálculo e análise de revisão extraordinária das tarifas de energia elétrica: um enfoque no equilíbrio econômico-financeiro dos contratos de concessão das distribuidoras**. 2001. 185f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

RODRIGUES, R. D. B., **Gerenciamento De Risco No Setor Elétrico Brasileiro Através Do Uso De Derivativos**. 2007. 144f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SANTOS, S. **Aplicação do *project finance* para alavancagem de empreendimentos hidrelétricos de pequeno porte**. 2003. 136f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia Planejamento Energético) - Universidade Federal de Itajuba, Itajubá.

THOMPSON, R. L., **Derivativos de Energia e Entropia Não-Extensiva de Tsallis**. 2006, 72f Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Economia) - IBMEC, Rio de Janeiro.

VICKREY, W. **Counterspeculation, auctions, and competitive sealed-tenders**. Journal of finance 16, 8–37. 1961.

APÊNDICE A - Leilões: Teoria *versus* Prática

Um dos autores que procurou estressar o lado prático da teoria de leilões, a luz da ciência, foi Klemperer (2004, Cap.3, p. 103). Não por acaso, ele foi um dos teóricos contratados para elaborar o leilão de banda de rádio frequência para telefonia celular 3G no Reino Unido. Sabiamente, além da teoria existente, o autor buscou relatos de casos práticos de aplicação, a fim de estabelecer os pilares do mecanismo que viera, até o seu tempo, a ser o maior leilão, em termos de valores, de toda história.

McMillan (1996, p. 161) relata um caso de utilização de um leilão de um único round, aplicado na Nova Zelândia, que teve resultados desapontadores. Neste leilão de round único, os objetos foram oferecidos simultaneamente, licenças para operação satélites para tele-difusão, aplicou-se o modelo de Vickrey (Leilão de segundo preço). Segundo o modelo, o vencedor pagou o preço estipulado no segundo maior lance. Os dois maiores lances foram: 1.o – NZ\$ 7.000.000,00 (7 milhões de dólares neo-zelandeses) e 2.o – NZ \$ 5.000,00 (5 mil dólares neo-zelandeses).

O modelo de leilão de Vickrey foi visto como o grande responsável pelo desastre no leilão, contradizendo o que os teóricos afirmavam. No entanto, fica claro que o estipulado por Demsetz foi na verdade, o grande vilão: não haviam competidores suficientes, o que leva a uma maior predisposição para o conluio, além de outros detalhes como não estipular preço de reserva, entre outros.

Outro fiasco relatado ocorreu na Turquia, para banda de telecom, onde haviam disponíveis 2 licenças para operação. Elas foram colocadas a venda de forma sequencial, sendo que o valor de reserva para a segunda, seria o preço de fechamento da primeira. Sabendo da regra, o vencedor aceitou aumentar seu próprio valor de reserva para a primeira licença, de tal forma que o valor de reserva da segunda licença se tornou inviável comercialmente, ficando o vencedor com monopólio no mercado.

Baseado nos estudos e da teoria disponível, Klemperer foi o líder da equipe que formulou o leilão com o maior valor transacionado na história. Os objetos foram licenças para operação de banda 3G móvel (telefonia celular) no Reino Unido: 4 licenças de operações adjacentes as atuais e 1 licença “A” que permitiria a entrada de um novo competidor (HARFORD, 2007, p. 197-209).

Naquela época (março de 2000), haviam 4 empresas estabelecidas e as 4 licenças de operações adjacentes teriam uma obviedade de tendência de favorecimento por economia de escala, favorecendo ainda o conluio. O diferencial era a licença “A” para novos entrantes no mercado, que por sua vez também seriam competidores pelas demais licenças, gerando um ambiente favorável a eficiência do leilão.

A equipe certificou-se de que o leilão havia sido divulgado extensivamente, há um ano antes de sua execução, de forma a ter adesão de mais competidores. Além disto, este fora o primeiro leilão de banda 3G da Europa: as empresas tinham grande interesse em ser pioneiras no ramo e estabelecer a plataforma para ganho de escala e know-how. Desta forma, além dos 4 players já existentes no mercado, a chamada registrou o interesse de mais 9 competidores.

O mecanismo de incentivos para o leilão fora calcado principalmente na existência da licença “A”, de forma simultânea às demais: as entrantes concorreriam principalmente por ela sendo que as demais licenças serviriam de campo de desafio entre estas e as empresas estabelecidas. Imaginavam-se 2 rodadas de lances diários, cada qual de 30 minutos, tempo em que um site de internet ficaria aberto a lances. Era esperado algo entre 3 a 7 bilhões de dólares, como resultado final do leilão, sendo que foi estipulado um valor de reserva de 750 milhões de dólares. Como resultado do leilão que iniciou em 6 de março de 2000, o primeiro competidor a desistir, saiu na 94.a rodada. Finalizado em 27 de abril de 2000, o leilão teve 150 rodadas de lances, que geraram um valor total de 34 bilhões de dólares, algo entre 5 a 10 vezes o valor esperado.

Considera-se que o leilão atingiu eficiência (e que foi um sucesso), principalmente por atrair novos competidores, estabelecer um número mínimo de *players* (mitigando o conluio) e obviamente por entender a colocação e interesse de cada *player*.

APÊNDICE B – Tabelas de Resultados de Leilões

Tabela 15 – Resultados Leilão A-5 2008

Vendedor	Empreendimento	Combustível	Energia Contratada (lotes)	ICB (R\$/MWh)
CONS CACIMBAES	Cacimbaes	Gas Natural Regaseificado (GNL)	64	145,00
CONS ESCOLHA	Escolha	Gas Natural Regaseificado (GNL)	189	144,50
CONS MC2 BE ES	Iconha	Oleo Combustível B1	100	146,00
CONS MC2 EB BA	MC2 Camacari 2	Oleo Combustível B1	99	145,98
CONS MC2 EB BA	MC2 Camacari 3	Oleo Combustível B1	99	145,97
CONS MC2 EB BA	MC2 Governador Mangabeira	Oleo Combustível B1	99	146,00
CONS MC2 EB BA PE	MC2 Santo Antonio de Jesus	Oleo Combustível B1	99	145,99
CONS MC2 EB BA PE	MC2 Sapeacu	Oleo Combustível B1	99	146,00
CONS MC2 EB BA PE	MC2 Suape II B	Oleo Combustível B1	201	146,00
CONS MC2 EB MA AL SE	MC2 Messias	Oleo Combustível B1	97	146,00
CONS MC2 EB MA AL SE	MC2 Nossa Senhora do Socorro	Oleo Combustível B1	97	146,00
CONS MC2 EB MA AL SE	MC2 Rio Largo	Oleo Combustível B1	97	146,00
CONS MC2 EC ES RS	MC2 Joinville	Gas Natural Regaseificado (GNL)	225	146,00
CONS MC2 GP CE	MC2 Pecem 2	Oleo Combustível B1	201	146,00
CONS MC2 GP ES RN	MC2 Joao Neiva	Gas Natural Regaseificado (GNL)	225	146,00
CONS MC2 GP ES RN	MC2 Macaiba	Oleo Combustível B1	224	146,00
CONS MC2 GP ES RN	MC2 Nova Venecia 2	Oleo Combustível B1	98	146,00
CONS PEIII	Pernambuco III	Oleo Combustível B1	104	144,70
CONS TP V	Termopower V	Oleo Combustível B1	104	145,90
CONS TP VI	Termopower VI	Oleo Combustível B1	104	144,80
COSAN CENTROESTE	Parauna	Bagaco de Cana	35	145,00
HEXAGONAL	Cauhyra I	Oleo Combustível B1	68	146,00
MPX	Porto do Pecem II	Carvao Mineral Importado	276	140,00
Total			3004	

Fonte: CCEE

Tabela 16 – Resultados Leilão Fonte Eólica 2009

Vendedor	Empreendimento	Estado	Energia Contratada (lotes)	Preço de Venda (R\$/MWh)
ARATUA	EOL ARATUA 1	RN	6	151,77
AREIA BRANCA	EOL AREIA BRANCA	RN	11	152,63
CONS ARARAS	EOL ARARAS	CE	12	150,38
CONS BURITI	EOL BURITI	CE	11	150,38
CONS CAJUCOCO	EOL CAJUCOCO	CE	12	150,38
CONS COQUEIRO	EOL COQUEIROS	CE	11	150,38
CONS DELTAEOLICA	EOL QUIXABA	CE	9	153,05
CONS GARCAS	EOL GARCAS	CE	13	150,38
CONS LAGOA SECA	EOL LAGOA SECA	CE	8	152,18
CONS MIASSABA	EOL MIASSABA 3	RN	22	152,07
CONS PEDRA DO REINO	EOL PEDRA DO REINO	BA	10	152,27
CONS VENTO DO OESTE	EOL VENTO DO OESTE	CE	7	152,18
COXILHA NEGRA V	EOL COXILHA NEGRA V	RS	11	131,00
COXILHA NEGRA VI	EOL COXILHA NEGRA VI	RS	11	131,00
COXILHA NEGRA VII	EOL COXILHA NEGRA VII	RS	11	131,00
DESA WIND I	EOL MORRO DOS VENTOS I	RN	13	151,04
DESA WIND III	EOL MORRO DOS VENTOS III	RN	13	151,01
DESA WIND IV	EOL MORRO DOS VENTOS IV	RN	13	151,02
DESA WIND IX	EOL MORRO DOS VENTOS IX	RN	14	151,03
DESA WIND VI	EOL MORRO DOS VENTOS VI	RN	13	151,05
DESENVIX SA	EOL MACAUBAS	BA	13	139,99
DESENVIX SA	EOL NOVO HORIZONTE	BA	10	139,99
DESENVIX SA	EOL SEABRA	BA	11	139,99
DUNAS DE PARACURU	EOL DUNAS DE PARACURU	CE	19	149,96
ELECNOR ENERFIN	EOL FAZENDA ROSARIO	RS	3	146,00
ELECNOR ENERFIN	EOL FAZENDA ROSARIO 3	RS	5	146,00
ELECNOR ENERFIN	EOL OSORIO 2	RS	9	149,99
ELECNOR ENERFIN	EOL SANGRADOURO 2	RS	9	149,99
ELECNOR ENERFIN	EOL SANGRADOURO 3	RS	9	149,99
EMBUACA	EOL EMBUACA	CE	11	151,07
ENERGEN	EOL BARRA DOS COQUEIROS	SE	10	152,50
ENERGIO COLONIA	EOL COLONIA	CE	8	149,90
ENERGIO ICARAI I	EOL ICARAI I	CE	13	142,00

ENERGIO ICARAI II	EOL ICARAI II	CE	18	142,00
ENERGIO TAIBA AGUIA	EOL TAIBA AGUIA	CE	10	149,90
ENERGIO TAIBA ANDORINHA	EOL TAIBA ANDORINHA	CE	6	149,90
EOLO	EOL REI DOS VENTOS 1	RN	21	152,77
EOLO	EOL REI DOS VENTOS 3	RN	21	153,07
EURUS VI	EOL EURUS VI	RN	3	150,00
FAISA I	EOL FAISA I	CE	9	152,66
FAISA II	EOL FAISA II	CE	9	152,65
FAISA III	EOL FAISA III	CE	8	152,69
FAISA IV	EOL FAISA IV	CE	8	152,67
FAISA V	EOL FAISA V	CE	9	152,68
GESTAMP EOLICA	EOL CABECO PRETO	RN	6	151,97
MANGUE SECO 1	EOL USINA DE MANGUE SECO 1	RN	12	149,99
MANGUE SECO 2	EOL USINA DE MANGUE SECO 2	RN	12	149,99
MANGUE SECO 3	EOL USINA DE MANGUE SECO 3	RN	12	149,99
MANGUE SECO 5	EOL USINA DE MANGUE SECO 5	RN	13	149,99
MAR E TERRA	EOL MAR E TERRA	RN	8	152,64
MARTIFER RENOVAVEIS	EOL ICARAI	CE	7	151,08
RENOVA ENERGIA	EOL ALVORADA	BA	3	144,94
RENOVA ENERGIA	EOL CANDIBA	BA	4	144,94
RENOVA ENERGIA	EOL GUANAMBI	BA	8	144,94
RENOVA ENERGIA	EOL GUIRAPA	BA	13	144,94
RENOVA ENERGIA	EOL IGAPORA	BA	13	146,94
RENOVA ENERGIA	EOL ILHEUS	BA	5	146,94
RENOVA ENERGIA	EOL LICINIO DE ALMEIDA	BA	10	144,94
RENOVA ENERGIA	EOL NOSSA SENHORA CONCEICAO	BA	12	146,94
RENOVA ENERGIA	EOL PAJEU DO VENTO	BA	11	146,94
RENOVA ENERGIA	EOL PINDAI	BA	11	144,94
RENOVA ENERGIA	EOL PLANALTINA	BA	12	146,94
RENOVA ENERGIA	EOL PORTO SEGURO	BA	2	146,94
RENOVA ENERGIA	EOL RIO VERDE	BA	16	144,94
RENOVA ENERGIA	EOL SERRA DO SALTO	BA	7	144,94
SANTA CLARA I	EOL SANTA CLARA I	RN	13	150,00
SANTA CLARA II REN	EOL SANTA CLARA II CPFL	RN	12	150,00
SANTA CLARA III	EOL SANTA CLARA III	RN	12	150,00
SANTA CLARA IV	EOL SANTA CLARA IV	RN	12	150,00
SANTA CLARA V	EOL SANTA CLARA V	RN	12	150,00

SANTA CLARA VI	EOL SANTA CLARA VI	RN	12	150,00
Total			753	

Fonte: CCEE

Tabela 17 – Resultados Leilão Disponibilidade Outras Fontes 2010

Vendedor	Empreendimento	Combustível	UF	Energia Contratada (lotes)	PEQ (R\$/MWh)
ARATUA	ARATUA 3	Eólica	RN	112	137,77
ASA BRANCA I	ASA BRANCA I	Eólica	RN	132	135,40
ASA BRANCA II	ASA BRANCA II	Eólica	RN	128	135,40
ASA BRANCA III	ASA BRANCA III	Eólica	RN	125	135,40
ASA BRANCA IV	ASA BRANCA IV	Eólica	RN	140	133,00
ASA BRANCA V	ASA BRANCA V	Eólica	RN	136	133,00
ASA BRANCA VI	ASA BRANCA VI	Eólica	RN	144	133,00
ASA BRANCA VII	ASA BRANCA VII	Eólica	RN	143	133,00
ASA BRANCA VIII	ASA BRANCA VIII	Eólica	RN	135	133,00
BRENNAND	PEDRA BRANCA	Eólica	BA	122	132,50
BRENNAND	SAO PEDRO DO LAGO	Eólica	BA	132	132,50
BRENNAND	SETE GAMELEIRAS	Eólica	BA	125	132,50
CBR	COSTA BRANCA	Eólica	RN	98	130,43
CHESF	CASA NOVA	Eólica	BA	614	131,50
CPE	ATLÂNTICA I	Eólica	RS	131	135,00
CPE	ATLÂNTICA II	Eólica	RS	129	135,00
CPE	ATLÂNTICA IV	Eólica	RS	130	135,00
CPE	ATLÂNTICA V	Eólica	RS	137	135,00
DREEN	DREEN BOA VISTA	Eólica	RN	57	137,99
DREEN	DREEN OLHO DAGUA	Eólica	RN	149	133,97
DREEN	DREEN SAO BENTO DO NORTE	Eólica	RN	140	133,97
DREEN	FAROL	Eólica	RN	91	133,97
ENERFIN	OSORIO 3	Eólica	RS	103	137,79
EOL EURUS IV	EURUS IV	Eólica	RN	137	135,40
IBERDROLA	ARIZONA 1	Eólica	RN	123	134,59
IBERDROLA	CAETITE 2	Eólica	BA	110	137,99
IBERDROLA	CAETITE 3	Eólica	BA	111	137,99
IBERDROLA	CALANGO 1	Eólica	RN	138	132,80
IBERDROLA	CALANGO 2	Eólica	RN	118	132,80
IBERDROLA	CALANGO 3	Eólica	RN	138	132,80
IBERDROLA	CALANGO 4	Eólica	RN	128	132,80
IBERDROLA	CALANGO 5	Eólica	RN	136	132,80
IBERDROLA	MEL 02	Eólica	RN	93	132,80
JUR	JUREMAS	Eólica	RN	75	136,01
MAC	MACACOS	Eólica	RN	97	136,01
MANDU	MANDU	Bagaço de Cana	SP	223	137,92

MORRO DO CHAPEU	VENTOS DO MORRO DO CHAPEU	Eólica	CE	131	133,40
OLEOPLAN	PONTAL 2B	Eólica	RS	42	134,81
PARAZINHO	VENTOS DO PARAZINHO	Eólica	CE	140	133,32
PEP	PEDRA PRETA	Eólica	RN	101	130,43
REB 11	REB CASSINO I	Eólica	RS	89	136,59
REB 11	REB CASSINO II	Eólica	RS	80	136,60
REB 11	REB CASSINO III	Eólica	RS	95	136,58
REN I	RENASCENCA I	Eólica	RN	132	136,00
REN II	RENASCENCA II	Eólica	RN	126	136,00
REN III	RENASCENCA III	Eólica	RN	118	136,00
REN IV	RENASCENCA IV	Eólica	RN	112	136,00
SMG	VENTOS DE SAO MIGUEL	Eólica	RN	109	136,00
VENTO FORMOSO	VENTO FORMOSO	Eólica	CE	135	133,40
VENTOS TIANGUA	VENTOS DE TIANGUA	Eólica	CE	131	133,40
VENTOS TIANGUA NORTE	VENTOS DE TIANGUA NORTE	Eólica	CE	141	133,40
Total				6662	

Fonte: CCEE

APÊNDICE C – Código Fonte do Simulador slmDjusto

Todo código-fonte foi gerado com o software computacional Matlab, em sua versão 6.5, sem utilização de nenhuma ferramenta adicional.

1. Geração da base de dados do cenário 1

```
function [slmCen1] = slmCen1()

%1.a ETAPA: Geracao Base de dados Preco Reserva
s1=[13];
s2=[13];
s3=[1];
s4=[1 1 1 1 1];
s5=[2 2 2 2 2 2];

Pr1=slmUBD(1,s1,140,120,20,0.2);
Pr2=slmUBD(2,s2,140,120,20,0.5);
Pr3=slmUBD(3,s3,140,120,20,0.4);
Pr4=slmUBD(4,s4,140,120,20,0.1);
Pr5=slmUBD(5,s5,150,130,10,0.1);

Emp=[];
Emp=[Emp;[ones(20,1)*1 (1:20).' ones(20,1)*100 ones(20,1)*140 Pr1.'+2_
    Pr1.'+1 Pr1.' ones(20,1) ones(20,1)*0.2]];
Emp=[Emp;[ones(20,1)*2 (1:20).' ones(20,1)*100 ones(20,1)*140 Pr2.'+2_
    Pr2.'+1 Pr2.' ones(20,1) ones(20,1)*0.5]];
Emp=[Emp;[ones(20,1)*3 (1:20).' ones(20,1)*100 ones(20,1)*140 Pr3.'+2_
    Pr3.'+1 Pr3.' ones(20,1) ones(20,1)*0.4]];
Emp=[Emp;[ones(20,1)*4 (1:20).' ones(20,1)*100 ones(20,1)*140 Pr4.'+2_
    Pr4.'+1 Pr4.' ones(20,1) ones(20,1)*0.4]];
Emp=[Emp;[ones(10,1)*5 (1:10).' ones(10,1)*50 ones(10,1)*150 Pr5.'+2 _
    Pr5.'+1 Pr5.' ones(10,1) ones(10,1)*0.1]];

slmCen1=Emp;
```

2. Geração da base de dados do cenário 2

```
function [slmCen2] = slmCen2()

%1.a ETAPA: Geracao Base de dados Preco Reserva
s1=[7 12];
s2=[8 11];
s3=[10 7];
s4=[10 8];
s5=[10 7 8];
s6=[10];
s7=[10];
s8=[10];
s9=[10];
s10 = [10];
s11 = [10];

Pr1=slmUBD(1,s1,140,120,10,0.2);
Pr2=slmUBD(2,s2,140,120,10,0.2);
```

```

Pr3=slmUBD(3,s3,140,120,10,0.3);
Pr4=slmUBD(4,s4,140,120,10,0.3);
Pr5=slmUBD(5,s5,140,120,10,0.3);
Pr6=slmUBD(6,s6,140,120,2,0.2);
Pr7=slmUBD(7,s7,140,115,2,0.2);
Pr8=slmUBD(8,s8,140,125,2,0.2);
Pr9=slmUBD(9,s9,140,110,2,0.2);
Pr10=slmUBD(10,s10,140,135,2,0.2);
Pr11=slmUBD(11,s11,140,105,2,0.2);

Emp=[];
Emp=[Emp;[ones(10,1)*1 (1:10).' ones(10,1)*100 ones(10,1)*140 Pr1.'+2_
Pr1.'+1 Pr1.' ones(10,1) ones(10,1)*0.2]];
Emp=[Emp;[ones(10,1)*2 (1:10).' ones(10,1)*100 ones(10,1)*140 Pr2.'+2_
Pr2.'+1 Pr2.' ones(10,1) ones(10,1)*0.2]];
Emp=[Emp;[ones(10,1)*3 (1:10).' ones(10,1)*100 ones(10,1)*140 Pr3.'+2_
Pr3.'+1 Pr3.' ones(10,1) ones(10,1)*0.3]];
Emp=[Emp;[ones(10,1)*4 (1:10).' ones(10,1)*100 ones(10,1)*140 Pr4.'+2_
Pr4.'+1 Pr4.' ones(10,1) ones(10,1)*0.3]];
Emp=[Emp;[ones(10,1)*5 (1:10).' ones(10,1)*100 ones(10,1)*140 Pr5.'+2_
Pr5.'+1 Pr5.' ones(10,1) ones(10,1)*0.3]];
Emp=[Emp;[ones(2,1)*6 (1:2).' ones(2,1)*10 ones(2,1)*140 Pr6.'+2_
Pr6.'+1 Pr6.' ones(2,1) ones(2,1)*0.2]];
Emp=[Emp;[ones(2,1)*7 (1:2).' ones(2,1)*10 ones(2,1)*140 Pr7.'+2_
Pr7.'+1 Pr7.' ones(2,1) ones(2,1)*0.2]];
Emp=[Emp;[ones(2,1)*8 (1:2).' ones(2,1)*10 ones(2,1)*140 Pr8.'+2_
Pr8.'+1 Pr8.' ones(2,1) ones(2,1)*0.2]];
Emp=[Emp;[ones(2,1)*9 (1:2).' ones(2,1)*10 ones(2,1)*140 Pr9.'+2_
Pr9.'+1 Pr9.' ones(2,1) ones(2,1)*0.2]];
Emp=[Emp;[ones(2,1)*10 (1:2).' ones(2,1)*10 ones(2,1)*140 Pr10.'+2_
Pr10.'+1 Pr10.' ones(2,1) ones(2,1)*0.2]];
Emp=[Emp;[ones(2,1)*11 (1:2).' ones(2,1)*10 ones(2,1)*140 Pr11.'+2_
Pr11.'+1 Pr11.' ones(2,1) ones(2,1)*0.2]];

slmCen2=Emp;

```

3. Geração da curva de preços de reserva

```

function [slmUBD] = slmUBD(j,s,maxPr,minPr,c,roi)

%SF=Strategy Fuzzy table: c1=id;c2=incPreco;c3=incRisco
SF=[1 .96 1.2 ;
2 .96 .8 ;
3 .98 .9 ;
4 .98 1 ;
5 .96 1.2 ;
6 .96 1 ;
7 .96 .9 ;
8 1 .9 ;
9 .96 1.1 ;
10 .96 1.1 ;
11 1.02 .8 ;
12 .96 1.1
13 1 1 ];

%aplica fator risco
ro=roi; %roi = risco inicial, intrinseco ao proponente
roMax = 1; %valor maximo para ro
for i=1:size(s,2)
%localiza i-esima estrategia na tabela Fuzzy de estrategias - SF
alfaRo=SF(s(i),3);
if alfaRo>1

```

```

        ro=ro+((alfaRo-1)*(roMax-ro));
    else
        ro=alfaRo*ro;
    end
end
end

ro;

%aplica fator preco, na ancoragem do preco minimo de reserva
pmin=minPr;          %pmin = preco de reserva minimo
pmax=pmin+4;        %valor maximo para preco minimo de reserva (4
                    unidades monetarias)
for i=1:size(s,2)
    %localiza i-esima estrategia na tabela Fuzzy de estrategias - SF
    betaPr=SF(s(i),2);
    if betaPr>1
        pmin=pmin+((betaPr-1)*(pmax-pmin));
    else
        pmin=betaPr*pmin;
    end
end
end

pmin;

%QsiMin = minPr
%QsiMax = Pc

QsiMin = 0;
QsiMax = 1;
%delta = maxPr - minPr;
delta = maxPr - pmin;

for i=1:c

    Qsi = ((QsiMax-QsiMin)/c)*i;
    num = (exp(-(Qsi-QsiMin)/ro))-1;
    den = (exp(-(QsiMax-QsiMin)/ro))-1;

    U = num/den;

    inc = delta*(1-U);

    if i==1
        Pr(i)=maxPr-inc;
    else
        Pr(i)=maxPr-inc;
    end
end
end

slmUBD=Pr; %retorna vetor precos reserva

```

4. Função Utilidade

```

function [slmU] = slmU(j,Pc,maxPr,Pri,c,ro,i)

%QsiMin = minPr
%QsiMax = Pc

QsiMin = 0;
QsiMax = 1;

Qsi = ((QsiMax-QsiMin)/c)*i;

```



```

num = (exp(-(Qsi-QsiMin)/ro))-1;
den = (exp(-(QsiMax-QsiMin)/ro))-1;

U = num/den;

delta = (Pc - maxPr);
inc = delta*(1-U);

slmU=Pri+inc; %retorna lance preco

```

5. Algoritmo Simulador

```

function [slmDjusto] = slmDjusto(Pc, Prop, OfRef)

%Emp = [
%      1 1 100 160 150 140 130 1 ;
%      2 2 100 160 150 140 130 1
%      ]

%Prop: array proponentes (id,propensaorisco,S5)
%Pc: preco corrente (na primeira rodada = preco inicial)

%Configuracao do leilao
%Parametros: participantes, empreendimentos, estrategias

%Oferta referencia (MWh), Demanda, Decremento Preco
Of = OfRef +1;
Dem = 500;
Dec = 1; %Decremento preco leilao uniforme

%Leilao Preco Uniforme
while Of >= OfRef
    %Agente 1 - aplicado para todos proponentes
    Of=0;

    LqAr = []; %Inicializa Array lances quantidades
    LpAr = []; %Inicializa Array lances precos
    LqAg = []; %Inicializa Vetor lances agregados (oferta quantidade)
    LpAg = []; %Inicializa Vetor lances agregados (oferta precos)
    EmpAg = [];
    PropAg = [];
    ArAg = [];

    for j=1:Prop
        Emp=slmEmpFilter(j);
        S5=Emp(1,9);
        Lq=slmAgentel(Pc, Emp, S5);
        %LqAr=[LqAr;Lq];
        LqAg=[LqAg Lq];
        Of=Of+sum(Lq);

        EmpId=Emp(:,2); %monta matriz coluna com
        idEmprendimentos
        EmpId=EmpId.'; %transforma em vetor
        PropId=ones(1,size(EmpId,2))*j; %monta vetor de mesmo tamanho,
        com idProponente
        EmpAg=[EmpAg EmpId];
        PropAg=[PropAg PropId];
        ArAg=[PropAg;EmpAg;LqAg];
    end
    Pc=Pc-Dec;
end
Pc=Pc+1;

```

```

%Leilao Discriminatorio
%Agente 2
for j=1:Prop
    Emp=slmEmpFilter(j);
    Lq=slmLqFilter(j,ArAg);
    Lp=slmAgente2(Pc, Emp, Lq, j);
    LpAg=[LpAg Lp];
end
ArAg = [ArAg;LpAg];

ArAg = sortrows(ArAg.',4).';

slmDjusto=ArAg; %Vetor vencedores

```

6. Agente_1 (Leilão Preço Uniforme)

```

function [slmAgentel] = slmAgentel(Pc, Emp, S5)
%Emp array(matrix) 1-id,2-desc,3-Q,4-P,5-P',6=P'',7=Pr,8=S
n=size(Emp,1);
for i = 1:n
    Q=Emp(i,3);
    P=Emp(i,4);
    P1=Emp(i,5);
    P2=Emp(i,6);
    Pr=Emp(i,7);

    pEscopo = 1;
    if (Pc > P)
        pEscopo=1;
    elseif ((P>Pc)&(Pc>=P1))
        pEscopo=0.9;
    elseif ((P1>Pc)&(Pc>=P2))
        pEscopo=0.8;
    elseif ((P2>Pc)&(Pc>=Pr))
        pEscopo=0.7;
    end

    if (Pc<Pr)
        Lq(i)=0;
    elseif S5~=0
        Lq(i)=Q*pEscopo;
    else
        Lq(i)=Q;
    end
end

slmAgentel=[Lq]; %retorna vetor lances com quantidades

```

7. Agente_2 (Leilão Discriminatório)

```

function [slmAgente2] = slmAgente2(Pc, Emp, Lq, j)
%Emp array(matrix) 1-id,2-desc,3-Q,4-P,5-P',6=P'',7=Pr,8=S
n=size(Emp,1);
c=0;
d=[];
for i = 1:n
    Pr=Emp(i,7);
    ro=Emp(i,9);
    if (Lq(i)~=0)
        c=c+1;
    end
end

```

```

        d(c,1)=i;
        d(c,2)=Pr;
    end
end

if size(d,1)~=0
    %Ordena linhas em ordem crescente pelo preco reserva
    %Coloca em novo array d1
    d1=sortrows(d,2);
    %Capta maior preco de reserva
    MaxPr=d1(c,2);

    %Inverte ordem: ordena linhas em ordem decrescente
    %Coloca array d2
    ct=0;
    for i=c:-1:1
        ct=ct+1;
        d2(ct,1)=d1(i,1); %Indice do empreendimento
        d2(ct,2)=d1(i,2); %Preco Reserva do empreendimento
    end
end

Lp(n)=0;

for i=1:c
    Lp(d2(i,1))=slmU(j,Pc,MaxPr,d2(c,2),c,ro,i);
    if Lp(d2(i,1))<d2(i,2)
        Lp(d2(i,1))=d2(i,2);
    end
end

slmAgente2=[Lp]; %retorna vetor lances com precos

```

8. Agente_2 (Leilão Discriminatório)

```

function [slmAgente2] = slmAgente2(Pc, Emp, Lq, j)
%Emp array(matrix) 1-id,2-desc,3-Q,4-P,5-P',6=P'',7=Pr,8=S
n=size(Emp,1);
c=0;
d=[];
for i = 1:n
    Pr=Emp(i,7);
    ro=Emp(i,9);
    if (Lq(i)~=0)
        c=c+1;
        d(c,1)=i;
        d(c,2)=Pr;
    end
end

if size(d,1)~=0
    %Ordena linhas em ordem crescente pelo preco reserva
    %Coloca em novo array d1
    d1=sortrows(d,2);
    %Capta maior preco de reserva
    MaxPr=d1(c,2);

    %Inverte ordem: ordena linhas em ordem decrescente
    %Coloca array d2
    ct=0;
    for i=c:-1:1
        ct=ct+1;

```

```

        d2(ct,1)=d1(i,1); %Indice do empreendimento
        d2(ct,2)=d1(i,2); %Preco Reserva do empreendimento
    end
end

Lp(n)=0;

for i=1:c
    Lp(d2(i,1))=slmU(j,Pc,MaxPr,d2(c,2),c,ro,i);
    if Lp(d2(i,1))<d2(i,2)
        Lp(d2(i,1))=d2(i,2);
    end
end

slmAgente2=[Lp]; %retorna vetor lances com precos

```

9. Funções acessórias de manipulação de dados

```

function [slmLqFilter] = slmLqFilter(j, ArAg)

R = [];

n=size(ArAg,2);
for i=1:n
    Ar = ArAg;
    if Ar(1,i)==j
        R = [R Ar(3,i)];
    end
end

slmLqFilter=R; %Vetor Lq, para proponente j

```

```

function [slmEmpFilter] = slmEmpFilter(j)

%Emp = [
%     1 1 100 160 150 140 130 1 0.2 ;
%     1 2 100 160 150 140 130 1 0.2 ;
%     2 2 100 160 150 140 129 1 0.1 ;
%     3 1 100 160 150 140 129 1 0.1
%     ];

Emp = slmCen1;

R = [];

for i=1:size(Emp,1)
    if Emp(i,1)==j
        R = [R;Emp(i,:)];
    end
end

slmEmpFilter=R; %Array empreendimentos de j

```

APÊNCIDE D - Bases de Dados do Exercício de Simulação

Tabela 18 – Cenário 1: Preços de Reserva

c1	c2	c3	c4	c5
124.45	122.2	117.86	101.42	120.21
127.92	124.19	120.28	104.77	131.67
130.62	125.99	122.48	107.93	138.78
132.73	127.63	124.47	110.89	143.19
134.37	129.1	126.29	113.68	145.93
135.64	130.44	127.93	116.3	147.63
136.64	131.64	129.43	118.75	148.69
137.41	132.74	130.79	121.07	149.34
138.01	133.73	132.02	123.24	149.75
138.48	134.62	133.14	125.28	150
138.85	135.43	134.16	127.19	0
139.13	136.16	135.08	129	0
139.35	136.83	135.92	130.69	0
139.53	137.43	136.69	132.28	0
139.66	137.97	137.38	133.77	0
139.77	138.46	138.01	135.18	0
139.85	138.9	138.58	136.5	0
139.91	139.31	139.1	137.74	0
139.96	139.67	139.57	138.9	0
140	140	140	140	0

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 19 – Cenário 2: Preços de Reserva

c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10	c11
120.13	130.06	118.62	121.97	119.24	136.44	135.75	137.13	135.06	138.51	134.37
126.65	135.05	124.56	126.98	125.44	140	140	140	140	140	140
131.09	137.54	128.97	130.7	129.88	0	0	0	0	0	0
134.13	138.78	132.23	133.44	133.06	0	0	0	0	0	0
136.2	139.4	134.64	135.48	135.33	0	0	0	0	0	0
137.62	139.71	136.43	136.99	136.97	0	0	0	0	0	0
138.58	139.86	137.75	138.11	138.13	0	0	0	0	0	0
139.24	139.94	138.74	138.93	138.97	0	0	0	0	0	0
139.69	139.98	139.46	139.55	139.57	0	0	0	0	0	0
140	140	140	140	140	0	0	0	0	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 20 – Exercício de Simulação: Empreendimentos Cenário 2

Prop.	Empr.	Q	P	P'	P''	Pr	$s5/6$	ρ
1	1	100	140	122.13	121.13	120.13	1	0.2
1	2	100	140	128.65	127.65	126.65	1	0.2
1	3	100	140	133.09	132.09	131.09	1	0.2
1	4	100	140	136.13	135.13	134.13	1	0.2
1	5	100	140	138.2	137.2	136.2	1	0.2
1	6	100	140	139.62	138.62	137.62	1	0.2
1	7	100	140	140.58	139.58	138.58	1	0.2
1	8	100	140	141.24	140.24	139.24	1	0.2
1	9	100	140	141.69	140.69	139.69	1	0.2
1	10	100	140	142	141	140	1	0.2
2	1	100	140	132.06	131.06	130.06	1	0.2
2	2	100	140	137.05	136.05	135.05	1	0.2
2	3	100	140	139.54	138.54	137.54	1	0.2
2	4	100	140	140.78	139.78	138.78	1	0.2
2	5	100	140	141.4	140.4	139.4	1	0.2
2	6	100	140	141.71	140.71	139.71	1	0.2
2	7	100	140	141.86	140.86	139.86	1	0.2
2	8	100	140	141.94	140.94	139.94	1	0.2
2	9	100	140	141.98	140.98	139.98	1	0.2
2	10	100	140	142	141	140	1	0.2
3	1	100	140	120.62	119.62	118.62	1	0.3
3	2	100	140	126.56	125.56	124.56	1	0.3
3	3	100	140	130.97	129.97	128.97	1	0.3
3	4	100	140	134.23	133.23	132.23	1	0.3
3	5	100	140	136.64	135.64	134.64	1	0.3
3	6	100	140	138.43	137.43	136.43	1	0.3
3	7	100	140	139.75	138.75	137.75	1	0.3
3	8	100	140	140.74	139.74	138.74	1	0.3
3	9	100	140	141.46	140.46	139.46	1	0.3
3	10	100	140	142	141	140	1	0.3
4	1	100	140	123.97	122.97	121.97	1	0.3
4	2	100	140	128.98	127.98	126.98	1	0.3
4	3	100	140	132.7	131.7	130.7	1	0.3
4	4	100	140	135.44	134.44	133.44	1	0.3
4	5	100	140	137.48	136.48	135.48	1	0.3
4	6	100	140	138.99	137.99	136.99	1	0.3
4	7	100	140	140.11	139.11	138.11	1	0.3
4	8	100	140	140.93	139.93	138.93	1	0.3
4	9	100	140	141.55	140.55	139.55	1	0.3
4	10	100	140	142	141	140	1	0.3

5	1	100	140	121.24	120.24	119.24	1	0.3
5	2	100	140	127.44	126.44	125.44	1	0.3
5	3	100	140	131.88	130.88	129.88	1	0.3
5	4	100	140	135.06	134.06	133.06	1	0.3
5	5	100	140	137.33	136.33	135.33	1	0.3
5	6	100	140	138.97	137.97	136.97	1	0.3
5	7	100	140	140.13	139.13	138.13	1	0.3
5	8	100	140	140.97	139.97	138.97	1	0.3
5	9	100	140	141.57	140.57	139.57	1	0.3
5	10	100	140	142	141	140	1	0.3
6	1	10	140	138.44	137.44	136.44	1	0.2
6	2	10	140	142	141	140	1	0.2
7	1	10	140	137.75	136.75	135.75	1	0.2
7	2	10	140	142	141	140	1	0.2
8	1	10	140	139.13	138.13	137.13	1	0.2
8	2	10	140	142	141	140	1	0.2
9	1	10	140	137.06	136.06	135.06	1	0.2
9	2	10	140	142	141	140	1	0.2
10	1	10	140	140.51	139.51	138.51	1	0.2
10	2	10	140	142	141	140	1	0.2
11	1	10	140	136.37	135.37	134.37	1	0.2
11	2	10	140	142	141	140	1	0.2

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 21 –Exercício de Simulação: Lances Cenário 1

Prop.	Empr.	%ACR	Lance				
				3	11	100	134.16
4	1	100	101.42	1	5	100	134.37
4	2	100	104.77	2	10	100	134.62
4	3	100	107.93	3	12	100	135.08
4	4	100	110.89	4	16	100	135.18
4	5	100	113.68	2	11	100	135.43
4	6	100	116.3	1	6	100	135.64
3	1	100	117.86	3	13	100	135.92
4	7	100	118.75	2	12	100	136.16
3	2	100	120.28	4	17	100	136.5
4	8	100	121.07	1	7	100	136.64
2	1	100	122.2	3	14	100	136.69
3	3	100	122.48	2	13	100	136.83
4	9	100	123.24	3	15	100	137.38
2	2	100	124.19	1	8	100	137.41
1	1	100	124.45	2	14	100	137.43
3	4	100	124.47	4	18	100	137.74
4	10	100	125.28	2	15	100	137.97
2	3	100	125.99	3	16	100	138.01
3	5	100	126.29	1	9	100	138.01
4	11	100	127.19	2	16	100	138.46
2	4	100	127.63	1	10	100	138.48
1	2	100	127.92	3	17	100	138.58
3	6	100	127.93	1	11	100	138.85
4	12	100	129	2	17	100	138.9
2	5	100	129.1	4	19	100	138.9
3	7	100	129.43	3	18	100	139.1
2	6	100	130.44	1	12	100	139.13
1	3	100	130.62	2	18	100	139.31
4	13	100	130.69	1	13	100	139.35
3	8	100	130.79	1	14	100	139.53
2	7	100	131.64	3	19	100	139.57
3	9	100	132.02	1	15	100	139.66
4	14	100	132.28	2	19	100	139.67
1	4	100	132.73	1	16	100	139.77
2	8	100	132.74	1	17	100	139.85
3	10	100	133.14	1	18	100	139.91
2	9	100	133.73	1	19	100	139.96
4	15	100	133.77	1	20	100	140
	(continuação)			2	20	100	140

3	20	100	140	5	5	35	150
4	20	100	140	5	6	35	150
5	1	40	148.94	5	7	35	150
5	2	35	149.98	5	8	35	150
5	3	35	150	5	9	35	150
				5	10	35	150
	(continuação)						
5	4	35	150				

Fonte: Elaborado pelo autor