

# Simulador de estratégias de participação em leilões de energia para geradores – Estudo de Caso – 7º Leilão de energia existente

Ewerton Guarnier, Wagner M. G. Silva, Marcelo Ap. Pelegrini<sup>1</sup>, Francisco A. Neto, Roberto Guena<sup>2</sup>, Soraia T. Quicu<sup>3</sup>

**Resumo** – Este artigo trata dos resultados do projeto “Simulador de estratégias de participação em leilões de energia para geradores aplicando teoria dos jogos”, que consistiu no desenvolvimento de uma metodologia e respectiva implementação computacional, para a simulação de leilões de energia organizados pela CCEE com a participação de jogadores reais e jogadores virtuais, representando as geradoras de energia. Neste artigo são apresentadas a metodologia desenvolvida, os resultados da implementação e um estudo de caso para o 7º leilão de energia existente.

**Palavras-chave:** leilões de energia elétrica, análise de portfólio, aversão ao risco, 7º leilão de energia existente.

## I. INTRODUÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do P&D n° 0387-008/2007 “Simulador de estratégias de participação em leilões de energia para geradores aplicando teoria dos jogos” que foi finalizado 2010, tendo como entidade contratante a Duke Energy e como entidades executoras a Sinapsis Inovação em Energia, a Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE) e a Fundação Instituto de Pesquisa Econômicas (FIPE).

O atual modelo do setor elétrico brasileiro entrou em vigor em 2004. Este modelo adotou como pilares a garantia do fornecimento de energia, a universalização do acesso e a modicidade tarifária. Tendo como referência este último pilar, o governo continuou com a competição nos segmentos de geração e comercialização, herança do modelo RESEB, e aplicou o novo ideal de contratação eficiente de energia para as distribuidoras de energia elétrica.

Os leilões de energia elétrica foram criados especificamente para o propósito da contratação eficiente de energia, com vistas a ter ganho de escala de oferta e diminuição dos riscos de contrato, pois estes eram realizados com um “pool” de distribuidoras.

---

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do VI Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (VI CITENEL), realizado em Fortaleza/CE, no período de 17 a 19 de agosto de 2011.

<sup>1</sup>E. Guarnier, W. G. M. Silva e M. A. Pelegrini trabalham na FDTE (e-mail: [ewerton.guarnier@sinapsisenergia.com](mailto:ewerton.guarnier@sinapsisenergia.com), [wagner.marcelino@gmail.com](mailto:wagner.marcelino@gmail.com), [marcelo.pelegrini@sinapsisenergia.com](mailto:marcelo.pelegrini@sinapsisenergia.com)).

<sup>2</sup>F. A. Neto e R. Guena trabalham na FIPE (e-mail: [fanuatti@usp.br](mailto:fanuatti@usp.br), [rbguena@usp.br](mailto:rbguena@usp.br)).

<sup>3</sup>S. T. Quicu trabalha na Duke Energy (e-mail: [stquicu@duke-energy.com](mailto:stquicu@duke-energy.com)).

As geradoras, por sua vez, ficaram com as seguintes opções de venda de energia:

- Ambiente de contratação regulada (ACR): Venda de energia para as distribuidoras por intermédio de leilões organizados pela CCEE.

- Ambiente de contratação livre (ACL): Venda de energia para os consumidores livres com contratos livremente negociados bilateralmente entre os vendedores e os compradores.

- Mercado de curto prazo (MCP): Liquidação de sua energia não contratada, valorada ao Preço de Liquidação de Diferenças (PLD).

As opções citadas (ACR, ACL, MCP) compõem o portfólio de contratos das geradoras, que estabelecem o percentual de participação de cada opção de acordo com suas preferências e possibilidades oferecidas pelo mercado.

Um dos propósitos deste estudo foi de apresentar uma nova metodologia para definição das estratégias de vendedores participantes dos leilões de energia elétrica. A metodologia para definição da atuação destes proponentes no leilão foi baseada em ferramentas que são amplamente utilizadas nos mercados financeiros, como a teoria de carteiras desenvolvida por Markowitz [1], o modelo CAPM (Capital Asset Model Price) desenvolvido por William Sharpe [2] e o conceito de aversão ao risco de investidores [3].

A composição do portfólio de contratos das geradoras depende do apetite ao risco de seus acionistas. O ideal de retorno médio e de risco do portfólio não é comum para todas as geradoras. Este conceito pode ser notado na prática com a análise do perfil de contratação das mesmas. Enquanto para algumas geradoras é interessante ter uma carteira de contratos sem riscos e com retorno moderado, para outras o ideal é ter um portfólio de contratos com maior rentabilidade e risco.

No modelo desenvolvido, o conceito de risco foi traduzido em um coeficiente de aversão ao risco. Para a definição deste coeficiente foi utilizado o método de análise hierárquica (MAH) criado por Thomas L. Saaty entre 1971 e 1978 [6]. Para tanto, foram estudadas as características das empresas de geração que são influentes na tomada de risco.

Os estudos realizados e a metodologia desenvolvida culminou na implementação de um sistema computacional de simulação de leilões com a participação de jogadores virtuais que representam as geradoras de energia elétrica existentes.

A metodologia desenvolvida e apresentada integralmente em [7] foi aplicada em um estudo de caso para o 7º leilão de energia existente, foco deste artigo.

## II. LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES DE MERCADO

Nesta etapa foi realizado um levantamento geral de informações que se encontram em diferentes fontes, como a ANEEL, a CCEE e as notas técnicas das revisões tarifárias e reajustes periódicos das distribuidoras de energia elétrica.

O levantamento resultou na criação de um banco de dados de comercialização de energia, com informações dos agentes de geração que serviram como base para a definição das estratégias dos jogadores nos leilões. O banco de dados será apresentado nos subitens a seguir.

### A. Leilões de energia

Os resultados dos leilões de energia são publicados pela CCEE, com a energia negociada pelas geradoras e pelas distribuidoras e com os preços ofertados. A reunião destas informações foi realizada em tabelas e disponibilizada para visualização a partir de formulários, como o apresentado nas figuras 1, 2 e 3.

Leilão	Energia Total (MWh)	Potência Média (MW)	Preço (R\$/MWh)
1º Leilão de energia existente 2005-08	8.393.255,81	119,68	57,51
1º Leilão de energia existente 2006-08	21.678.764,39	309,13	67,33
1º Leilão de energia existente 2007-08	2.943.336,76	41,97	75,46
2º Leilão de energia existente 2008-08	2.871.326,22	38,10	83,13
1º Leilão de energia nova 2008-T15	3.332.031,04	25,34	132,26
1º Leilão de energia nova 2008-H30	843.401,85	3,21	106,95
4º Leilão de energia existente 2009-08	772.086,26	11,01	94,91
1º Leilão de energia nova 2009-T15	2.124.103,82	16,08	129,36
2º Leilão de energia nova 2009-T15	2.834.302,34	21,56	132,39
1º Leilão de energia nova 2009-H30	331.371,89	1,26	134,28
2º Leilão de energia nova 2009-H30	11.031.219,44	41,97	126,77
1º Leilão de energia nova 2010-T15	3.672.965,58	27,93	123,81
1º Leilão de energia nova 2010-H30	7.574.714,01	28,80	115,04
4º Leilão de energia nova 2010-T15	931.277,23	7,08	134,67
5º Leilão de energia nova 2012-T15	5.968.998,36	45,39	128,37
5º Leilão de energia nova 2012-H30	5.344.813,84	20,32	129,14
Leilão UHE Santo Antônio - 2012	1.088,75	0,12	78,87
Leilão UHE Santo Antônio - 2013	97.705,80	11,15	78,87

Figura 1. Distribuidoras em leilões

Empreendimento	Contrato	Energia Anual (MWh)	Potência contratada (MWmédico)	Preço (R\$/MWh)
1º Leilão de energia existente 2006-08		8.128.082,05	927,00	69,58
2º Leilão de energia existente 2008-08		302.429,89	105,00	83,50
2º Leilão de energia nova 2009-H30		736.310,40	84,00	125,00
5º Leilão de energia nova 2012-H30		378.935,20	43,00	129,90
Itaipu				125,00
Porto Estrela		137.780,80	18,00	134,42
Queimado		411.983,20	47,00	125,00
UHE Biquilim - cota Cemig		229.483,39	26,18	115,08

Figura 2. Geradoras em leilões

Distribuidora	Potência Média (MW)	Empresa	Empreendimento	Potência (MW)
AES SUL	315,68	CCEE-OT		260,00
AMPLA	336,74	CESP		800,00
BANDEIRANTE	263,21	CHESF		2500,00
CAIUA	31,65	COPEL GEF		960,00
CEAL	189,87	DUKE PARANAPAN		214,00
CEB	127,30	ELETRONORTE		672,00
CCEE	216,44	EMAE		85,00
EHO	25,72	ESCELSA		87,00
CEIG	305,98	FURNAS		3076,00
CELPA	436,21	LIGHT		380,00
CELPE	248,27			
CELTRIS	34,62			
CEMAR	333,63			
CEMAT	8,90			
CEMIG	530,17			
CEPSA	187,93			

Figura 3. Leilões

Os preços apresentados nas figuras acima se encontram na data base do mês de realização do leilão, mas no próprio sistema se encontram os IPCAs, tanto dos leilões quanto dos contratos bilaterais, para a atualização de preços.

Para os contratos de disponibilidade, os preços considerados no banco de dados são os respectivos ICBs ofertados dos empreendimentos comercializados. As receitas fixas dos empreendimentos também estão armazenadas no banco de dados, tanto para as geradoras (receita fixa total do empreendimento) quanto para as distribuidoras (parcela da receita fixa destinada a distribuidora contratante).

### B. Contratos

Os contratos firmados entre as geradoras e os compradores nem sempre são disponibilizados publicamente. Os contratos realizados no ACL são registrados na CCEE, mas as informações não são divulgadas, assim como os contratos bilaterais firmados entre as geradoras e as distribuidoras antes de 2004. Algumas informações sobre este último, como preço e quantidade, podem ser encontradas nas revisões e reajustes tarifários das distribuidoras.

Estes dados, juntamente com os dados de contratos obtidos nos leilões de energia foram armazenados nas tabelas e disponibilizados em formulários como o apresentado nas figuras 4 e 5.

Vendedor	Contrato	Empreendimento	Potência (MW)	Preço (R\$/MWh)
Agente T	7º Leilão de energia nova 2013-OF15	MC2 Rio Largo	0,7432	146,00
Agente T	7º Leilão de energia nova 2013-OF15	MC2 Imitiba	1,7240	146,00
Agente T	7º Leilão de energia nova 2013-OF15	MC2 Pecém 2	1,5401	146,00
Agente T	7º Leilão de energia nova 2013-OF15	MC2 João Neiva	1,7240	146,00
Agente T	7º Leilão de energia nova 2013-OF15	MC2 Macaíba	1,7189	146,00
Agente T	7º Leilão de energia nova 2013-OF15	MC2 Nova Venécia 2	0,7209	146,00
Agente T	7º Leilão de energia nova 2013-OF15	Parauana	0,2682	146,00
Agente T	7º Leilão de energia nova 2013-OF15	Cauiyara I	0,5210	146,00
Agente T	7º Leilão de energia nova 2013-OF15	Porto do Pecém II	2,1147	146,00
Agente T	7º Leilão de energia nova 2013-OF15	Pernambuco III	0,7969	144,70
Agente T	7º Leilão de energia nova 2013-OF15	Termopower V	0,7969	145,90
Agente T	7º Leilão de energia nova 2013-OF15	Termopower VI	0,7969	144,80
Agente T	7º Leilão de energia nova 2013-OF15	Cacimbuers	0,4904	145,00
Agente T	7º Leilão de energia nova 2013-OF15	Escolha	1,4481	144,50
AES INF PNE IS	Bilateral	INFONEGY	7,5311	138,41
AES URUGUAIANA	Bilateral	URUGUAIANA	177,5219	134,84
CGTEE	Bilateral	CGTEE - CONTRATO INICIAL	32,5656	85,41

Figura 4. Contratos das distribuidoras

Contrato	Empreendimento	Comprador	Potência (MW médios)	Preço (R\$/MWh)
2º Leilão de energia nova 2009-H30	Porto Primavera (Eng. Sergio Motta)	CEMIG	4,8190	124,97
2º Leilão de energia nova 2009-H30	Porto Primavera (Eng. Sergio Motta)	CEPSA	0,8623	124,97
2º Leilão de energia nova 2009-H30	Porto Primavera (Eng. Sergio Motta)	CLFSC	0,2336	124,97
2º Leilão de energia nova 2009-H30	Porto Primavera (Eng. Sergio Motta)	COELBA	3,0436	124,97
2º Leilão de energia nova 2009-H30	Porto Primavera (Eng. Sergio Motta)	COELCE	1,7546	124,97
2º Leilão de energia nova 2009-H30	Porto Primavera (Eng. Sergio Motta)	COPEL	2,2320	124,97
2º Leilão de energia nova 2009-H30	Porto Primavera (Eng. Sergio Motta)	CPFL PAULISTA	13,1735	124,97
2º Leilão de energia nova 2009-H30	Porto Primavera (Eng. Sergio Motta)	CPFL PIRATINGA	3,3427	124,97
2º Leilão de energia nova 2009-H30	Porto Primavera (Eng. Sergio Motta)	EDEEP	0,1170	124,97
2º Leilão de energia nova 2009-H30	Porto Primavera (Eng. Sergio Motta)	EEB	0,1167	124,97
2º Leilão de energia nova 2009-H30	Porto Primavera (Eng. Sergio Motta)	ELEKTRO	2,0291	124,97
2º Leilão de energia nova 2009-H30	Porto Primavera (Eng. Sergio Motta)	ELETRONORTE	2,3334	124,97
2º Leilão de energia nova 2009-H30	Porto Primavera (Eng. Sergio Motta)	ESE	1,5218	124,97
2º Leilão de energia nova 2009-H30	Porto Primavera (Eng. Sergio Motta)	ENERSUL	0,3080	124,97
2º Leilão de energia nova 2009-H30	Porto Primavera (Eng. Sergio Motta)	ESCELSA	1,1574	124,97
2º Leilão de energia nova 2009-H30	Porto Primavera (Eng. Sergio Motta)	LIGHT	1,5627	124,97
2º Leilão de energia nova 2009-H30	Porto Primavera (Eng. Sergio Motta)	EPB	0,4058	124,97
Bilateral		CEP	47,5357	81,84

Figura 5. Contratos das geradoras

### C. Demanda

Após o cadastro dos contratos com os geradores, dos contratos de ITAIPU e PROINFA e do mercado das distribuidoras, foi possível realizar cenários de projeção de demanda para cada distribuidora, admitindo-se um crescimento de mercado e a contabilização dos contratos existentes, inclusi-

ve com a entrada em operação de novas usinas advindas de contratos realizados em leilões de energia nova.

**Distribuidoras**

Distribuidora: AMPLA  
 Razão Social: Ampla Energia e Serviços S/A  
 Mercado: 12.640.176,83 Consumidores atendidos: 2.400.000  
 Energia disponível: 11.094.008,13 Região atendida: Sudeste

Tipo	Contrato	Início	Fim	Energia Anual (MWh)
Bilateral	ENERTRADE	2003	2017	350.400,00
Leilão	1º Leilão de energia existente 2005-08	2005	2012	2.291.024,83
Leilão	1º Leilão de energia existente 2006-08	2006	2013	2.207.535,07
Leilão	1º Leilão de energia existente 2007-08	2007	2014	318.476,05
Leilão	1º Leilão de energia nova 2008-H08	2008	2017	13.710,46
Leilão	1º Leilão de energia nova 2008-T15	2008	2022	108.331,98
Leilão	1º Leilão de energia nova 2009-H10	2009	2038	9.824,77
Leilão	1º Leilão de energia nova 2009-T15	2009	2023	125.361,23
Leilão	1º Leilão de energia nova 2010-H10	2010	2019	284.402,84
Leilão	1º Leilão de energia nova 2010-T15	2010	2024	275.790,35
Leilão	2º Leilão de energia existente 2008-08	2008	2015	496.896,19
Leilão	2º Leilão de energia nova 2009-H10	2009	2038	336.405,74
Leilão	2º Leilão de energia nova 2009-T15	2009	2023	70.084,96
Leilão	3º Leilão de energia nova 2011-H10	2011	2040	144.762,03
Leilão	3º Leilão de energia nova 2011-T15	2011	2025	136.111,93
Leilão	4º Leilão de energia nova 2010-T15	2010	2024	55.223,48
Leilão	5º Leilão de energia existente 2007-08	2007	2014	37.271,73
Leilão	5º Leilão de energia nova 2012-H10	2012	2042	222.705,58
Leilão	5º Leilão de energia nova 2012-T15	2012	2026	497.416,53

Figura 6. Formulário Demanda

**D.Descontratação**

A energia descontratada dos agentes de geração e dos agentes de distribuição através dos leilões de energia pode ser obtida no banco de dados. O formulário a seguir apresenta a descontração anual total de energia dividida por tipo de leilão (existente, nova termo e nova hidro).

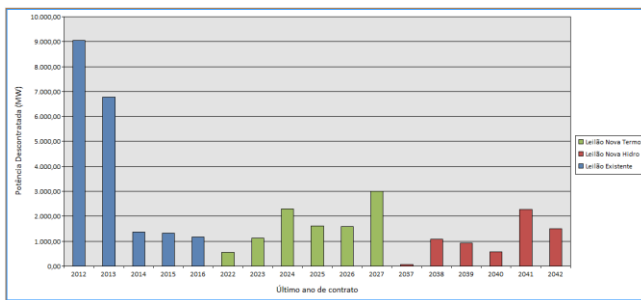


Figura 7. Formulário Descontração

**E. Resultados**

A CCEE divulga mensalmente informações dos agentes cadastrados em relatórios de contabilização individual. Estes relatórios se mostraram muito úteis para a definição das estratégias dos jogadores, disponibilizando informações de cada agente como: Geração mensal, energia assegurada mensal, montante vendido mensalmente em contratos, montante comprado mensalmente em contratos, energia comercializada mensalmente no MRE, entre outros. Estes dados foram reunidos no banco de dados e disponibilizados em formulários como apresentado nas figuras a seguir.

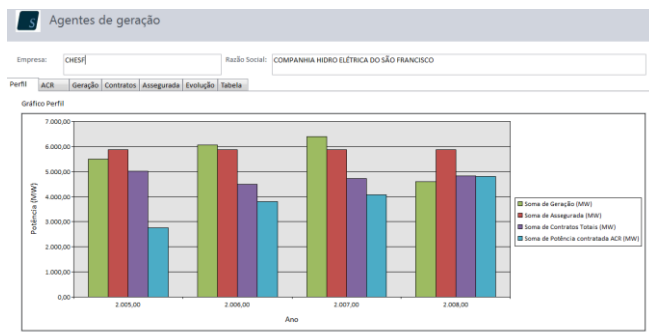


Figura 8. Resultados - Perfil

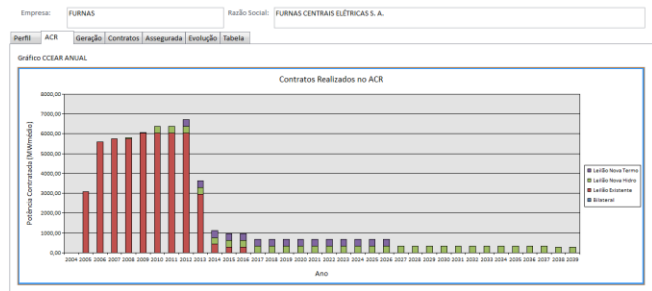


Figura 9. Resultados - ACR

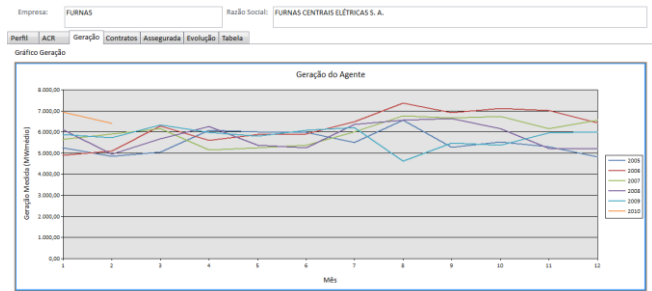


Figura 10. Resultados - Geração

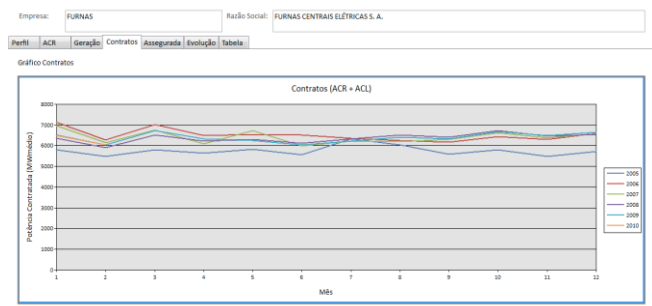


Figura 11. Resultados - Contratos

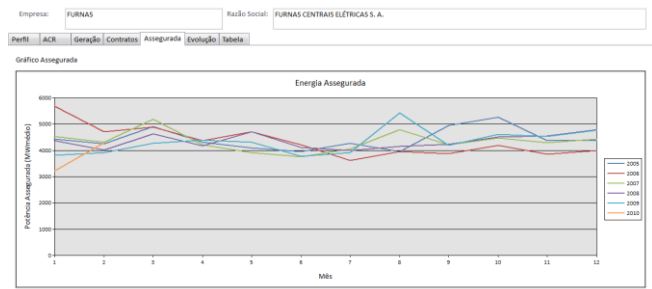
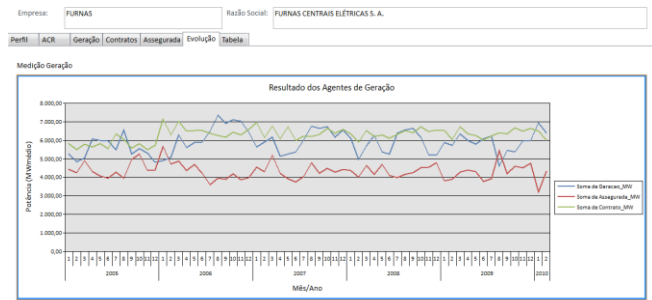


Figura 12. Resultados - Assegurada



Geradora MW	Assegurada MW	Contratos MW	Ano	Mês
5.279,34	4.426,74	5.805,19	2005	1
4.440,71	4.242,57	5.492,29	2005	2
5.035,34	4.905,33	5.751,06	2005	3
6.082,79	4.302,41	5.649,83	2005	4
6.086,51	4.096,56	5.826,62	2005	5
5.970,65	3.954,17	5.550,78	2005	6
5.490,47	4.266,71	6.134,68	2005	7
5.565,50	3.962,39	6.051,70	2005	8
5.269,35	4.947,39	5.591,70	2005	9
5.530,85	3.261,41	5.813,16	2005	10
5.305,51	4.366,28	5.464,29	2005	11
4.815,59	4.998,67	5.714,42	2005	12
4.900,67	5.674,15	7.130,64	2006	1
5.095,82	4.713,19	6.294,46	2006	2
6.177,29	4.878,52	7.017,40	2006	3
5.609,79	4.174,85	6.500,27	2006	4
5.870,57	4.099,06	6.309,79	2006	5
5.917,06	4.218,71	6.513,77	2006	6

Figura 14. Resultados – Tabela

### III. ESTRATÉGIA DE ATUAÇÃO DE GERADORAS EM LEILÕES DE ENERGIA

A metodologia elaborada para definição das estratégias de atuação nos leilões de energia existente foi baseada na teoria de seleção de carteiras desenvolvida por Harry Markowitz e no modelo CAPM desenvolvido por William Sharpe. Estas teorias são amplamente utilizadas no mercado financeiro e serão adaptadas de maneira a permitir a construção da curva de atuação dos jogadores contendo volumes a serem ofertados para cada preço de lance do leilão.

#### A. Escolha do portfólio ótimo

A metodologia desenvolvida para escolha ótima de portfólio necessita, além das possibilidades de carteiras, da propensão/aversão ao risco da empresa. Esta propensão/aversão ao risco pode ser definida de diversas formas, tais como o Método de Análise Hierárquica, estudo de atuação pretérita da empresa, ou até mesmo pela definição baseada na experiência dos tomadores de decisão.

Neste momento, introduzimos os conceitos de Utilidade e Curvas de indiferença. Resumidamente, a Utilidade traduz em um valor numérico a satisfação atribuída à empresa na obtenção de uma “cesta” com determinados retorno e risco. Por sua vez, a curva de indiferença é o espaço geométrico das cestas que fornecem à empresa a mesma utilidade, ou seja, a mesma satisfação.

Existem algumas possibilidades de funções para descrever as curvas de indiferença [3]. Para o caso dos vendedores de energia elétrica serão utilizadas funções quadráticas do tipo:

$$U(X, Y) = BY + AY^2 + AX^2 = k \quad (1)$$

Manipulando a equação temos a circunferência com centro e raio como segue:

$$(X_c, Y_c) = \left(0, -\frac{B}{2A}\right) \quad (2)$$

$$r = \sqrt{\frac{k}{A} + \frac{B^2}{4A^2}} \quad (3)$$

A figura 15 ilustra algumas curvas de indiferença no espaço Risco x Retorno de acordo com o valor de k (utilidade).

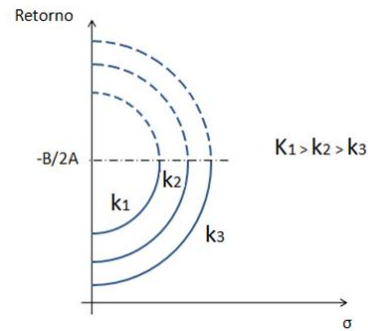


Figura 15. Curvas de indiferença no espaço Risco x Retorno

Na figura 15 são representadas 3 curvas de indiferença para 3 diferentes utilidades (K1, K2 e K3). A curva referente à K1 apresenta a maior utilidade para o investidor, seguido de K2 e K3. No momento da escolha da carteira, o investidor deverá optar por aquelas que lhe proporcionem maior utilidade/satisfação (K1).

Com os conceitos de Utilidade e Curva de indiferença esclarecidos, é possível apresentar o método para a construção da curva de atuação dos vendedores nos leilões de energia elétrica.

As possibilidades de composição de portfólio com contratos de venda de energia no ambiente regulado e no ambiente livre serão descritas por retas partindo do ativo sem risco (mercado cativo) para o ativo com risco (mercado livre). Esta reta será renovada a cada novo preço de lance do leilão, conforme ilustra a figura 16.

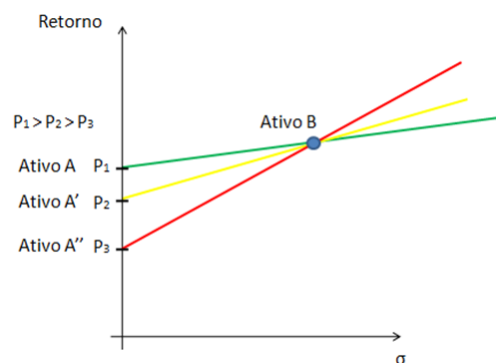


Figura 16. Retas de Possibilidades para sucessivas rodadas do Leilão

Os ativos A, A' e A'' da figura 16 representam os preços das sucessivas rodadas do leilão e o ativo B representa a expectativa de preços do ACL.

Assim, com as sucessivas rodadas do leilão, o preço da energia no mercado cativo vai diminuindo, apresentando ao vendedor uma nova possibilidade de composição de seu portfólio. A partir do coeficiente de propensão ao risco do vendedor e suas respectivas curvas de indiferença, é possível identificar qual é a melhor configuração entre mercado cativo e livre para um dado conjunto de possibilidades.

A figura 17 apresenta dois vendedores, com seus coeficientes de propensão ao risco ( $\alpha_1$  e  $\alpha_2$ ) e uma única reta de possibilidades de formação de carteira. Fica evidente que a melhor composição para cada um dos proponentes é distinta, mesmo estando diante das mesmas possibilidades de portfólio. Nesta mesma figura,  $\alpha_1$  representa o gerador com menor propensão ao risco e  $\alpha_2$  representa o gerador com maior propensão ao risco. Como os coeficientes de propensão ao risco

se encontram no eixo de retorno, estes se apresentam a unidade do retorno, R\$/MWh.

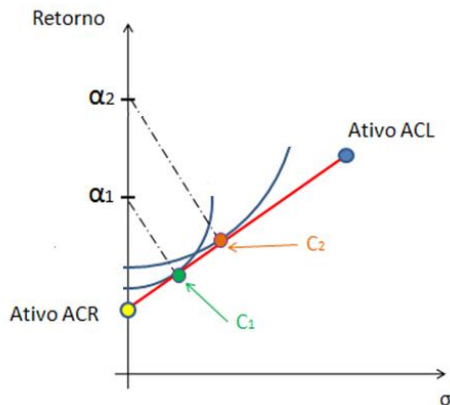


Figura 17. Carteiras para distintos coeficientes de propensão ao risco

As melhores carteiras para cada gerador serão aquelas que maximizem a sua satisfação, ou seja, que maximizem sua utilidade. Isto acontece quando a curva de indiferença que representa esta máxima utilidade tangencia a reta de possibilidade de carteiras. Todas as outras possibilidades de carteiras apresentadas para o gerador irão representar necessariamente em uma diminuição de sua utilidade.

As melhores carteiras, denominadas C<sub>1</sub> e C<sub>2</sub>, têm composições distintas, como era esperado. O vendedor com menor coeficiente de propensão ao risco (α<sub>1</sub>) prefere um portfólio com maior volume vendido no mercado regulado C<sub>1</sub>, já o vendedor com maior coeficiente de propensão ao risco (α<sub>2</sub>) prefere um portfólio com uma participação maior dos volumes vendidos para o mercado livre C<sub>2</sub>.

Considerando agora apenas um vendedor, com as diversas possibilidades apresentadas na sucessão de rodadas do leilão. A figura a seguir ilustrará como a composição do portfólio é modificada com a mudança do preço de lance.

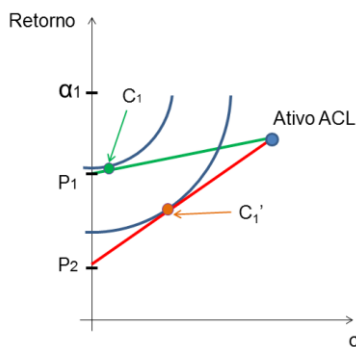


Figura 18. Carteiras para retas de possibilidades distintas

A figura mostra que quanto maior o preço da energia no leilão, mais energia o vendedor vai ofertar no mesmo. Com o decréscimo no preço de P<sub>1</sub> para P<sub>2</sub>, o vendedor prefere alocar mais volume no mercado livre, que pode dar um retorno maior, mesmo acarretando em maior risco.

Analisando-se a figura 19 pode-se fazer o equacionamento da escolha de melhor portfólio para o proponente com coeficiente α, o resultado está apresentado na equação 4.

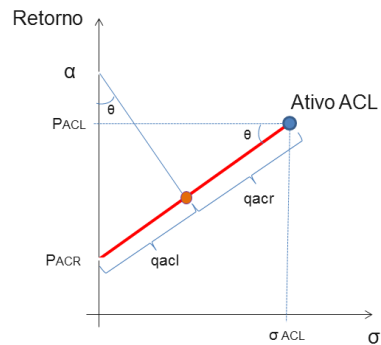


Figura 19 – Equacionamento da escolha de melhor portfólio

$$Q_{ACR} = Q_{TOTAL} * \left(1 - \frac{(P_{ACL} - P_{ACR}) * (\alpha - P_{ACR})}{(P_{ACL} - P_{ACR})^2 + \sigma_{ACL}^2}\right) \quad (4)$$

Onde:

Q<sub>ACR</sub>: Quantidade ofertada pelo proponente ao preço de lance PACR

Q<sub>TOTAL</sub>: Quantidade total de lotes disponível para o proponente no leilão

P<sub>ACL</sub>: Expectativa do preço médio de contratação no ambiente de comercialização livre (ACL) durante o período de contrato do leilão.

P<sub>ACR</sub>: Preço de lance no leilão.

α: Coeficiente de propensão ao risco do proponente.

σ<sub>ACL</sub>: Risco do preço no ambiente de contratação livre.

Desta forma, é possível construir uma curva de Preço x Oferta para cada proponente, onde é possível visualizar a quantidade a ser ofertada pelo vendedor de acordo com o preço de lance do leilão.

A figura 20 ilustra a estratégia de venda de 5 proponentes, na escolha de seu portfólio, com diferentes coeficientes de propensão ao risco (70; 85; 100; 115 e 130), com P<sub>ACL</sub>=130; σ<sub>ACL</sub> = 13; Q<sub>TOTAL</sub> = 600.

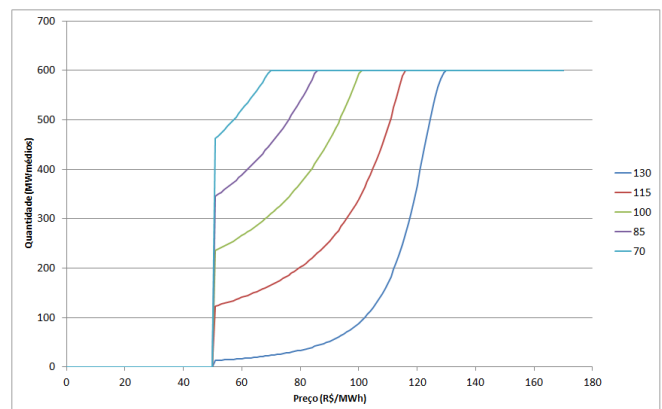


Figura 20. Equacionamento da escolha de melhor portfólio

Em alguns casos os valores obtidos apresentam significado teórico, mas que não se refletem na prática. Alguns limites foram impostos ao equacionamento para contornar isto, são eles:

- Q<sub>ACR</sub> ≤ Q<sub>TOTAL</sub>: O proponente não pode ofertar no leilão mais do que a sua quantidade disponível para o mesmo;

- Se P<sub>ACR</sub> > P<sub>ACL</sub> → Q<sub>ACR</sub> = Q<sub>TOTAL</sub>: Se o preço de lance do leilão for maior que a expectativa média de preço no ACL o proponente deve ofertar todos os seus lotes. Esta

restrição chega a ser intuitiva, pois se o proponente tem 2 possibilidades de investimento e uma delas tem retorno maior e risco menor, ele formará 100% de seu portfólio com esta opção.

-  $QACR \geq 0$ : O proponente não pode ofertar valores negativos no leilão.

- Se  $PACR < CUSTO \rightarrow QACR = 0$ : O proponente não deve ofertar lotes no leilão se o preço de lance estiver menor que os seus custos.

-  $QTOTAL = QACR + QACL$ : A geradora comercializa toda a sua energia no contrato, sendo nulo o montante comercializado no Mercado de Curto Prazo.

Onde,

$QACL$ : Lotes comercializados no mercado livre.

$CUSTO$ : Representa os custos com Manutenção e Operação das usinas do proponente e os custos de financiamento do investimento

O preço ofertado por cada proponente na rodada discriminatória é realizado de acordo com sua aversão/propensão ao risco. A figura 21 ilustra este comportamento.

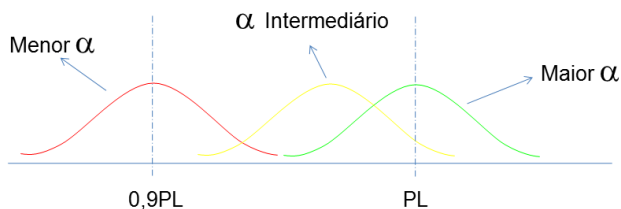


Figura 21. Preço de Lance na rodada discriminatória

Os jogadores com maior propensão ao risco (maior  $\alpha$ ) tendem a diminuir menos o preço e os jogadores com menor propensão, por sua vez, tendem a diminuir mais. A definição da oferta é feita de forma probabilística em torno de distribuições normais, mas sempre limitadas ao preço de lance da última rodada válida da etapa discriminatória ( $PL$ ) e em 90% deste valor.

### B. Desempenho

O desempenho proveniente da atuação dos jogadores nos leilões de energia elétrica e conseqüente formação da sua carteira de contratos é de complexa mensuração, visto que o resultado absoluto não transmite inequivocamente a satisfação do jogador, sendo necessária neste caso uma ponderação entre retorno esperado e o risco assumido com o referido portfólio de acordo com a sua propensão ao risco.

A teoria apresentada nos subitens acima expressa a formação de um portfólio ótimo, ou seja, um portfólio que maximiza a utilidade do proponente. As curvas de indiferença representam pontos no gráfico de risco e retorno com a mesma utilidade para o jogador  $\alpha$ . A figura a seguir ilustra as curvas de indiferença deste jogador e a procura da curva de maior utilidade (amarela).

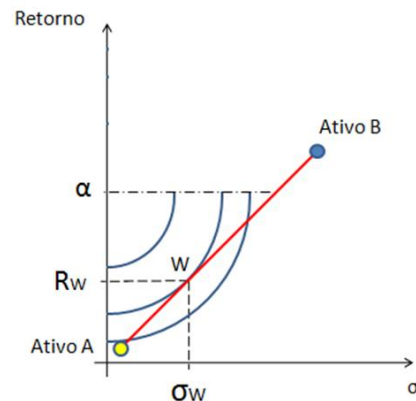


Figura 22. Curvas de indiferença

O conceito de equivalente seguro do investidor é utilizado para obtenção do retorno de uma carteira sem risco que proporcionaria ao jogador a mesma utilidade da carteira com risco composta após a sua participação no leilão. A figura a seguir ilustra este conceito.

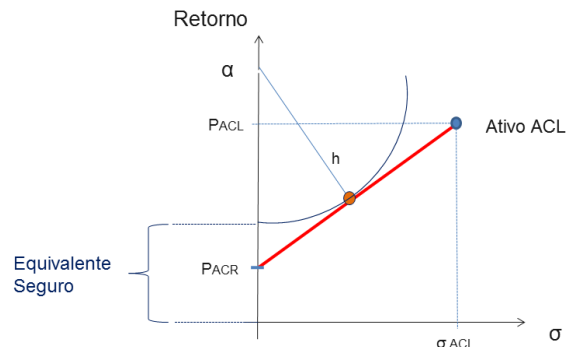


Figura 23. Equivalente seguro

A função de maior utilidade para uma reta de possibilidade de carteira também se traduz em um máximo equivalente seguro. Os proponentes que não ofertam a quantidade otimizada terão uma menor utilidade e conseqüentemente um menor equivalente seguro. Este conceito está ilustrado na figura 24.

O desempenho do jogador é medido através da proximidade de seu equivalente seguro com o equivalente seguro ótimo. As fórmulas (5), (6), (7) e (8) são utilizadas para o cálculo deste desempenho.

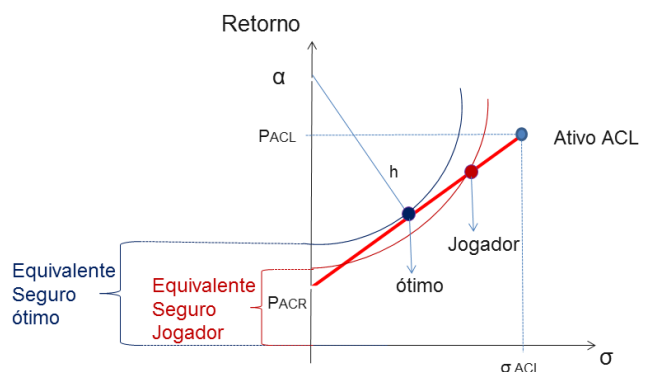


Figura 24. Equivalente seguro do jogador

$$s = 1 - \frac{Q_{ACR}}{Q_{Total}} \quad (5)$$

$$h_{jogador} = \sqrt{(\alpha - s_{jogador} * Pacl - (1 - s_{jogador}) * Pacr)^2 + (s_{jogador} * \sigma)^2} \quad (6)$$

$$Equivalente Seguro = \alpha - h \quad (7)$$

$$Desempenho = \frac{Equivalente Seguro_{jogador}}{Equivalente Seguro_{\acute{o}timo}} * 1000 \quad (8)$$

Onde:

s: representa o percentual da energia que será destinada ao ACL.

h: representa a utilidade do jogador, como apresentado na figura 24.

O desempenho do jogador é uma variável adimensional e, multiplicada por 1000 apresenta a relação da carteira do mesmo com a carteira ótima em unidades por mil.

#### IV. MÉTODOS DE ANÁLISE HIERÁRQUICA APLICADO NA DEFINIÇÃO DA PROPENSÃO AO RISCO DOS AGENTES DE GERAÇÃO

O método de análise hierárquica (MAH)  uma técnica gerencial de apoio  decisão criada por Thomas L. Saaty entre 1971 e 1978. A sua aplicação é muito variada, passando entre estudo de transportes, análise de terrorismo até distribução de recursos conforme prioridade para questões de governo.

O autor descreve 4 vantagens em se utilizar as hierarquias:

1- A representação hierárquica de um sistema pode ser usada para descrever como as mudanças em prioridades nos níveis mais altos afetam a prioridade dos níveis mais baixos

2- Eles do grandes detalhes de informação sobre a estrutura e as funções de um sistema nos níveis mais baixos, permitindo uma visão geral de atores e de seus propósitos nos níveis mais altos.

3- Os sistemas naturais montados hierarquicamente, isto é, através de construção modular e montagem final de módulos, desenvolvem-se muito mais eficientemente do que aqueles montados de um modo geral.

4- Eles são estáveis e flexíveis: estáveis porque pequenas modificações têm efeitos pequenos; e flexíveis porque adições a uma hierarquia bem estruturada não perturbam o desempenho;

A estratégia dos geradores de energia (jogadores) nos leilões de energia existente pode ser representada por uma curva de Quantidade X Preço. Esta curva relaciona a quantidade de lotes (1MWmdio) que o agente vender quando o lance do leilão estiver naquele preço. A figura 13 ilustra a estratégia de um jogador.

O perfil de um jogador pode ser traçado utilizando-se de ações realizadas no passado. O método de análise hierárquica  útil nesta situação, pois podemos estratificar o perfil de cada jogador.

A análise completa para a definição dos perfis dos jogadores pode ser encontrada em [7].

## V. SIMULADOR DE LEILÕES

A partir da metodologia desenvolvida no projeto apresentada nos itens anteriores, foi criada uma ferramenta computacional de simulação de leilões de energia com a participação de jogadores reais e jogadores virtuais.

### A. Administrador

O simulador foi desenvolvido para o treinamento da sistemática do leilão, baseando-se no modelo utilizado pela CCEE. Um “administrador” faz o papel do organizador do leilão, correspondente à CCEE, e do regulador, correspondente à ANEEL. A figura a seguir apresenta a tela inicial do administrador do leilão.

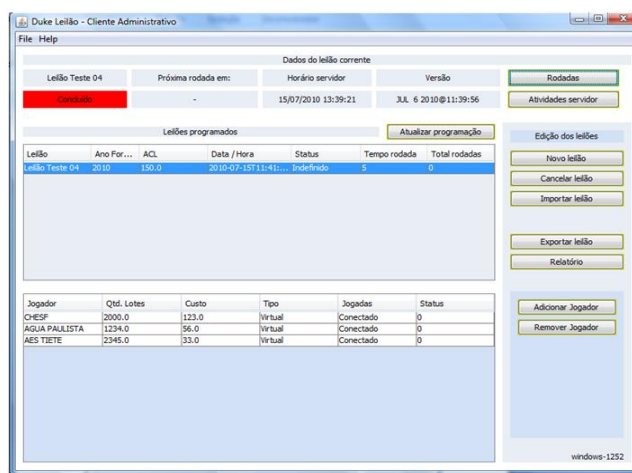


Figura 25. Tela inicial – Administrador

Nesta tela estão dispostas todas as opções que tem o administrador do leilão. O botão “Novo Leilão” abre a tela de cadastro de leilões apresentada a seguir:

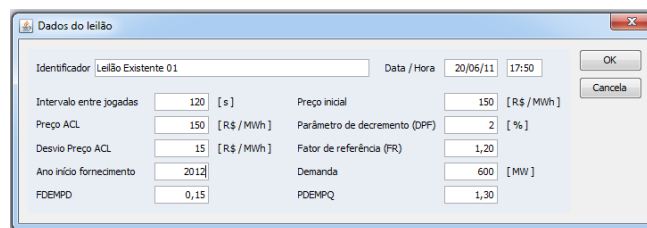


Figura 26. Tela de dados do leilão – Administrador

As informações de preço, desvio no ACL e ano de início de fornecimento requeridas nesta tela são necessárias para a definição da estratégia de oferta dos jogadores virtuais.

Após o cadastro do leilão, o administrador insere os jogadores que participaram da simulação através do botão “Adicionar jogador” da tela inicial.

Duas opções são apresentadas: inserção de um jogador real ou inserção de um jogador virtual. A figura 27 apresenta a tela da 2 opção. Para o jogador real, o administrador cadastra o seu identificador e senha para o acesso do usuário, o máximo de lotes que este usuário poderá ofertar e a empresa que ele estará representando.

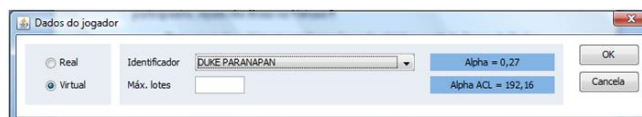


Figura 27. Inserção de jogador virtual – Administrador

Para o jogador virtual, o administrador escolhe o agente de geração que ele quer cadastrar no leilão e o número de lotes disponíveis, e o software calcula os coeficientes de propensão ao risco deste agente através de uma consulta ao banco de dados.

A seguir são apresentados alguns botões da tela inicial do administrador (figura 25) e as suas funcionalidades.

- Rodadas: Apresenta ao administrador o histórico de oferta dos jogadores nas rodadas durante a realização do leilão.
- Atividades servidor: Apresenta o histórico de atividades realizadas pelo servidor.
- Cancelar leilão: Cancela o leilão antes de seu início
- Importar leilão: Importa todas as informações de um leilão realizado anteriormente, desde os parâmetros de cadastro do leilão até o cadastro dos participantes.
- Exportar leilão: Exporta as informações cadastradas no leilão para que sejam utilizadas posteriormente.
- Remover jogador: Exclui um jogador cadastrado no leilão.

O botão relatórios apresenta os resultados do leilão. Estes resultados serão mostrados posteriormente neste artigo.

### B. Usuário

Os usuários acessam o servidor, onde está o serviço do simulador de leilões, através da tela inicial apresentada na figura 28.

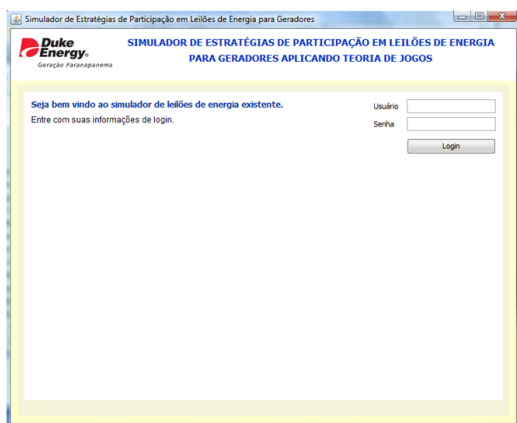


Figura 28. Tela inicial – Usuário

Os dados de entrada, usuário e senha, são fornecidos pelo administrador do leilão antes do início da simulação. Ao fazer o Login, o usuário acessa o ambiente de simulação, confirma os dados de seus empreendimentos e entra no ambiente de negociação, apresentado na figura 29.

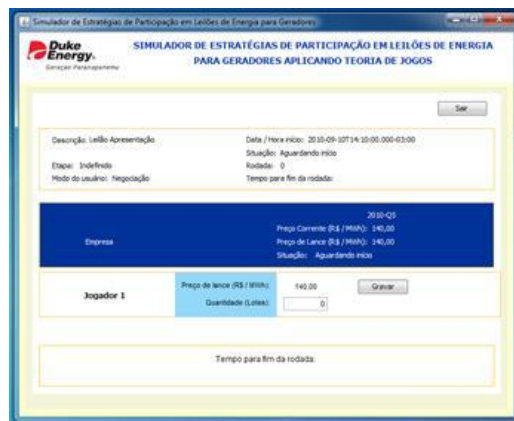


Figura 29. Ambiente de negociação – Usuário

É nesta tela que o usuário faz as ofertas de quantidade nas rodadas uniformes e de preço na rodada discriminatória.

### C. Relatórios

O simulador disponibiliza ao administrador 4 tipos de relatórios;

- Resumo: Apresenta o resumo dos dados cadastrais do leilão e dos jogadores participantes.



Figura 30. Relatório - Resumo

- Gráficos: Apresenta a evolução da oferta dos jogadores com o decréscimo do preço nas rodadas uniformes, o preço ofertado por cada jogador na rodada discriminatória e quantidade negociada.

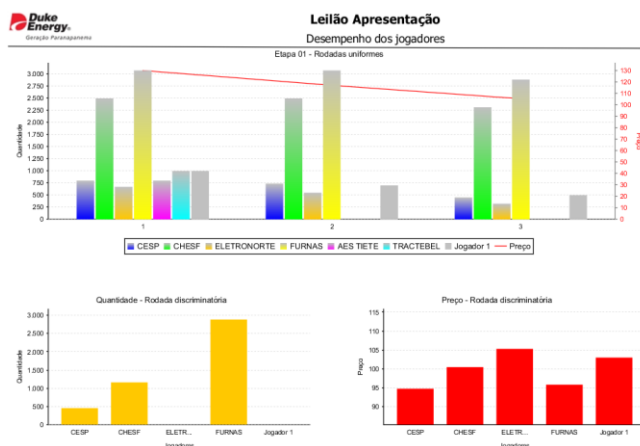


Figura 31. Relatório - Gráficos



- Jogadas: Apresenta as informações disponibilizadas no relatório “Gráfico” em formato de texto.

Duke Energy Geração Paranaíba		Leilão Apresentação Evolução das Jogadas			
<b>Rodada uniforme</b>					
<b>Jogada 1</b>					
Jogador	Lance	Data / Hora do lance	Demanda Ref	Preço	
CESP	800	2010-09-10T14:39:01.000-03:00	5400,00	130,00	
CHESF	2500	2010-09-10T14:39:01.000-03:00	5400,00	130,00	
ELETRONORTE	672	2010-09-10T14:39:01.000-03:00	5400,00	130,00	
FURNAS	3076	2010-09-10T14:39:01.000-03:00	5400,00	130,00	
AES TIETE	800	2010-09-10T14:39:01.000-03:00	5400,00	130,00	
TRACTEBEL	1000	2010-09-10T14:39:01.000-03:00	5400,00	130,00	
Jogador 1	1000	2010-09-10T14:39:04.000-03:00	5400,00	130,00	
<b>Jogada 2</b>					
Jogador	Lance	Data / Hora do lance	Demanda Ref	Preço	
CESP	739	2010-09-10T14:39:16.000-03:00	5400,00	117,00	
CHESF	2500	2010-09-10T14:39:16.000-03:00	5400,00	117,00	
ELETRONORTE	550	2010-09-10T14:39:16.000-03:00	5400,00	117,00	
FURNAS	3076	2010-09-10T14:39:16.000-03:00	5400,00	117,00	
AES TIETE	0	2010-09-10T14:39:16.000-03:00	5400,00	117,00	
TRACTEBEL	0	2010-09-10T14:39:16.000-03:00	5400,00	117,00	
Jogador 1	700	2010-09-10T14:39:19.000-03:00	5400,00	117,00	
<b>Jogada 3</b>					
Jogador	Lance	Data / Hora do lance	Demanda Ref	Preço	
CESP	453	2010-09-10T14:39:31.000-03:00	5400,00	105,30	
CHESF	2316	2010-09-10T14:39:31.000-03:00	5400,00	105,30	
ELETRONORTE	322	2010-09-10T14:39:31.000-03:00	5400,00	105,30	
FURNAS	2887	2010-09-10T14:39:31.000-03:00	5400,00	105,30	
AES TIETE	0	2010-09-10T14:39:31.000-03:00	5400,00	105,30	
TRACTEBEL	0	2010-09-10T14:39:31.000-03:00	5400,00	105,30	
Jogador 1	500	2010-09-10T14:39:38.000-03:00	5400,00	105,30	

Figura 32. Relatório - Jogadas

- Desempenho: Apresenta o desempenho dos jogadores ao final do leilão.

Duke Energy Geração Paranaíba		Leilão Apresentação Desempenho dos jogadores				
Jogador	Comportamento	Ofertado	Vendido	Preço	Desempenho	
AES TIETE	AES TIETE	0	0	117,00	1000	
CESP	CESP	453	453	94,77	980	
CHESF	CHESF	2316	1160	100,48	921	
ELETRONORTE	ELETRONORTE	322	0	105,30	932	
FURNAS	FURNAS	2887	2887	95,84	949	
Jogador 1	DUKE PARANAPAN	500	0	103,00	1000	
TRACTEBEL	TRACTEBEL	0	0	117,00	1000	

Figura 33. Relatório – Desempenho

O jogador real (Jogador 1) também tem seu desempenho avaliado a partir do equivalente seguro do jogador (8). Sendo que a estratégia ótima é aquela que maximiza a utilidade do gerador que ele está simulando o comportamento.

## VI. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Esta etapa teve o intuito de analisar as variáveis de entrada dos leilões de energia existente utilizando o modelo do 7º leilão de energia existente e verificando qual a influência destas variáveis nos resultados finais. A análise foi conduzida apenas com os jogadores virtuais, sem a presença de nenhum jogador real.

### A. Parâmetros gerais

O 7º leilão de energia existente, realizado em 2008, trouxe uma novidade, que até então não tinha sido aplicada em nenhum outro leilão do mesmo tipo, a divisão do leilão em 2 produtos distintos: o produto “Quantidade” e o produto “Disponibilidade”. Este último feito exclusivamente para as geradoras com usinas térmicas em seu portfólio.

A quantidade demandada para os 2 produtos não foi fixada previamente e dependia da atuação dos geradores e de alguns parâmetros definidos pelo MME. Segue abaixo a

metodologia utilizada pela CCEE para o cálculo das demandas neste leilão.

$$MQPD = QTDEM * FDEMPD \quad (9)$$

$$QDPQ = \text{Mín}[(QTDEM - MQPD); (QOPQ / PDEMPQ)] \quad (10)$$

$$ORPQ = QDPQ * FRPQ \quad (11)$$

$$1 \leq FRPQ \leq PDEMPQ \quad (12)$$

Onde:

**MQPD** = mínima quantidade demanda para o produto disponibilidade;

**QTDEM** = quantidade total demandada;

**FDEMPD** = fator para determinação da quantidade demandada mínima para o produto disponibilidade;

**QDPQ** = quantidade demandada do produto quantidade;

**QOPQ** = quantidade ofertada na primeira rodada do produto quantidade;

**PDEMPQ** = parâmetro de demanda para o produto quantidade;

**ORPQ** = Oferta de referência do produto quantidade;

**FRPQ** = fator de referência do produto quantidade;

Dois casos serão analisados neste estudo.

- Caso 1 (Jogadores avessos ao risco com maior quantidade de lotes)
- Caso 2 (Jogadores propensos ao risco com maior quantidade de lotes)

As tabelas I e II apresentam a quantidade disponível para cada jogador.

Tabela I. Quantidade disponível para os jogadores no caso 1.

Jogadores	Propensão ao risco	Quantidade (lotes)	Custo (R\$/MWh)
1	78	500	50
2	86	450	50
3	94	400	50
4	102	350	50
5	110	300	50
6	110	250	50
7	118	200	50
8	126	150	50
9	134	100	50
10	142	50	50
<b>Total</b>		<b>2750</b>	

Tabela II. Quantidade disponível para os jogadores no caso 2.

Jogadores	Propensão ao risco	Quantidade (lotes)	Custo (R\$/MWh)
1	78	50	50
2	86	100	50
3	94	150	50
4	102	200	50
5	110	250	50
6	110	300	50
7	118	350	50
8	126	400	50
9	134	450	50
10	142	500	50
<b>Total</b>		<b>2750</b>	

Os jogadores com valores maiores de propensão ao risco são aqueles que tendem a ter menor participação no leilão na medida em que o preço de lance diminui.

Os parâmetros iniciais do leilão se encontram abaixo e terão os mesmos valores nos dois casos de estudo para que seja possível fazer comparações.

- Demanda total = 1000 Lotes de 1 MW médio
- Fator de referência = 1,2
- Decremento = 5%
- Preço inicial = 100 R\$/MWh
- Preço ACL = 100 R\$/MWh
- Risco ACL = 10% (do Preço ACL)
- FDEMPD = 0,15
- PDEMPQ = 1,3
- Quantidade disponível total = 2750 Lotes de 1 MW médio (Oferta total disponível)

Como o preço inicial é o mesmo do preço com risco do ACL todos os jogadores ofertam na 1ª rodada sua quantidade disponível, independente da aversão/propensão ao risco. Neste caso a demanda da etapa quantidade é determinada a partir da parcela mínima destinada à etapa disponibilidade representada pelo parâmetro FDEMPD.

- QDPQ (quantidade disponível para o PQ) = 850 Lotes
- ORPQ (oferta de referência para o PQ) = 1020 Lotes

### B. Demanda total

Mantendo-se todos os parâmetros do leilão constantes e variando-se a demanda total do leilão (Quantidade + Disponibilidade) temos a seguinte resposta do modelo.

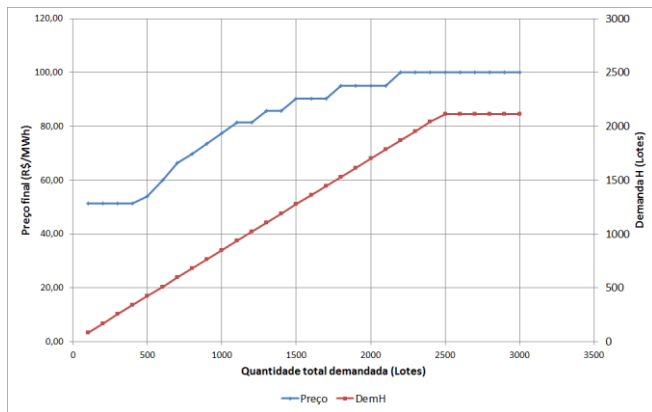


Figura 34. Demanda total variável - Caso 1

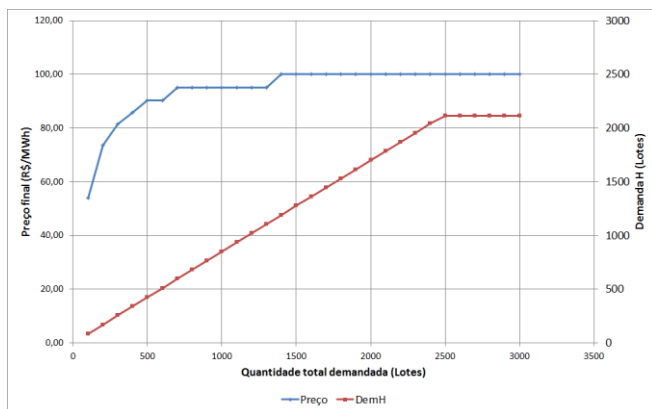


Figura 35. Demanda total variável - Caso 2

A quantidade demandada no produto “Quantidade” do leilão se mantém no máximo possível (QTDEM-FDEMPD) até

o momento em que o fator QOPQ/PDEMPQ se torna inferior, e como a oferta inicial (QOPQ) das geradoras é constante, a Demanda H (QDPQ) se torna constante.

O preço final do leilão, aqui caracterizado como o preço da última rodada uniforme válida, cresce na medida em que aumentamos a demanda total do leilão, isto acontece porque a competitividade entre os agentes diminui. Os primeiros pontos do caso 1 apresentam valores constantes de preço final, próximo dos 50 R\$/MWh, pois as geradoras têm restrição de oferta para preços abaixo de seu custo.

O preço final aumenta mais rapidamente com o aumento da demanda do leilão no caso 2 que no caso 1. Isto acontece porque os agentes mais avessos ao risco não conseguem suprir a demanda sem a participação dos agentes mais propensos ao risco, que só ofertam seus lotes com maiores preços.

### C. Preço inicial do leilão

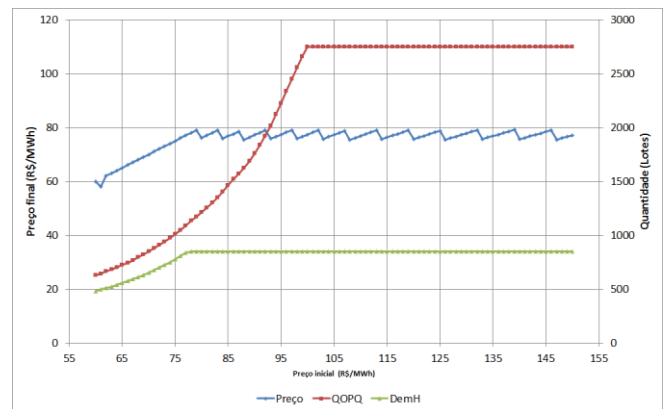


Figura 36. Preço inicial variável- Caso 1

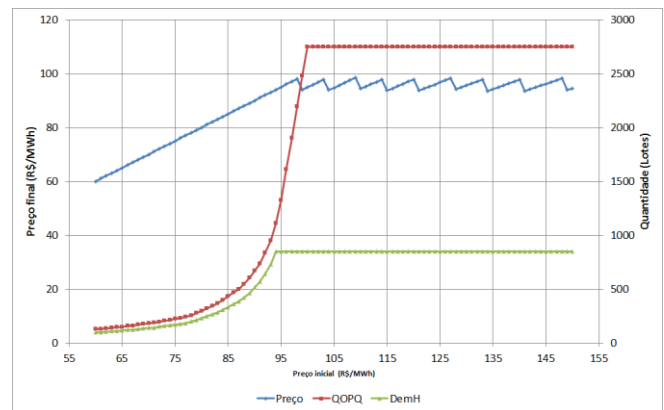


Figura 37. Preço inicial variável- Caso 2

Nota-se que a curva de demanda da etapa “Quantidade” (DemH) é crescente no início e depois fica constante em 850 lotes nos 2 casos, isto acontece porque o modelo do leilão determina a quantidade demandada para este produto de acordo com a quantidade ofertada na rodada inicial (QOPQ) com o objetivo de aumentar a competitividade no leilão. A partir de uma determinada quantidade ofertada o modelo não aumenta mais a demanda deste produto para obedecer à restrição de oferta mínima no produto disponibilidade, representado pelo parâmetro FDEMPD.

A quantidade inicial ofertada pelos agentes depende do preço inicial do leilão, seguindo a teoria proposta de formação de portfólio.

O gráfico mostra que o preço inicial do leilão tem influência no preço final do mesmo na medida em que altera a quantidade ofertada na rodada inicial. Quando o preço inicial é mais baixo, a demanda do produto reduz devido à redução da oferta inicial dos geradores, aumentando a competitividade entre os mesmos e consequentemente reduzindo o preço final.

A redução da quantidade ofertada na primeira rodada do leilão é mais acentuada no caso 2, pois os jogadores mais representativos no leilão têm características de propensão ao risco e não aceitam ofertar seus lotes a preços baixos. O caso 2 só atinge a demanda máxima próximo dos 95R\$/MWh de preço inicial enquanto o caso 1 atinge a demanda máxima próximo dos 80R\$/MWh.

Quando a demanda do leilão se estabiliza no máximo, o preço final também se estabiliza dentro de uma faixa de valores.

#### D. Decremento

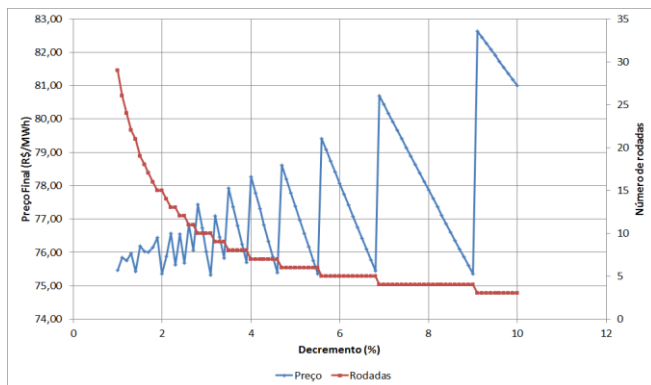


Figura 38. Decremento variável - Caso 1

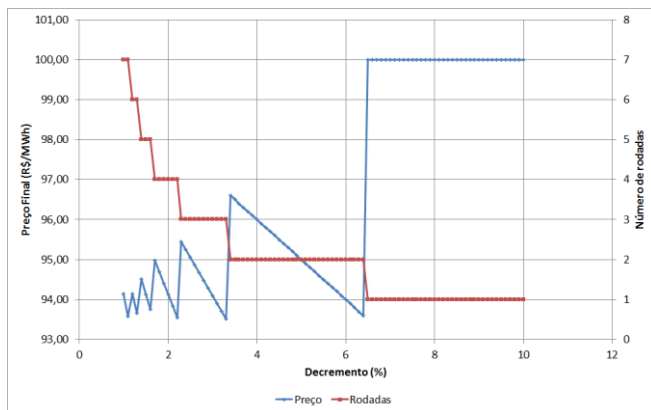


Figura 39. Decremento variável - Caso 2

Nota-se no gráfico que na medida em que o decréscimo diminui aumenta-se o número de rodadas uniformes e o preço final aparece em faixas menores.

O aumento do decréscimo faz com que o preço de lance diminua mais rapidamente, o que explica a diminuição do número de rodadas. Ao mesmo tempo, este aumento de decréscimo faz com que o preço tenha maiores “saltos” entre as rodadas, não capturando assim o máximo que cada jogador está disposto a ofertar.

No caso 2 o número de rodadas é bem menor, o preço final aparece em faixas maiores de valor e a 1ª rodada se torna a última a partir de 6,5% de decréscimo por não haver ofertas suficientes na 2ª rodada.

#### E. Demanda mínima do produto disponibilidade (FDEMPD)

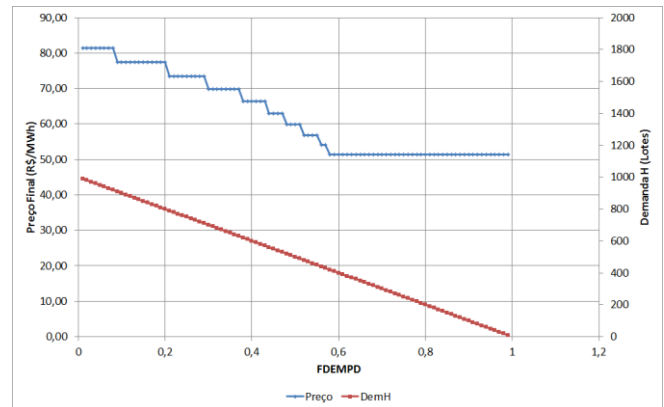


Figura 40. FDEMPD variável - Caso 1

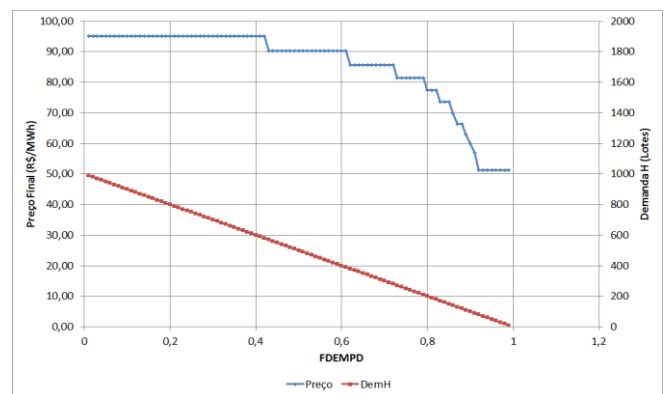


Figura 41. FDEMPD variável - Caso 2

Nota-se pelos gráficos acima que a demanda da etapa quantidade do leilão decresce com o aumento do parâmetro FDEMPD, pois se aumenta a porcentagem mínima de demanda destinada a etapa disponibilidade. Nos 2 casos, com FDEMPD = 0, a demanda da etapa quantidade é igual a demanda total do leilão e, com FDEMPD = 1, a demanda da etapa quantidade é nula, pois 100% da demanda é reservada à etapa disponibilidade.

O preço final apresenta comportamento decrescente com o aumento do parâmetro, pois a demanda é reduzida, aumentando-se a competitividade, e decai mais rapidamente no caso 1, pois as geradoras mais representativas são avessas ao risco. Novamente o preço final se torna constante para altos valores de FDEMPD devido às restrições de custo.

#### F. Parâmetro de Demanda (PDEMPQ)

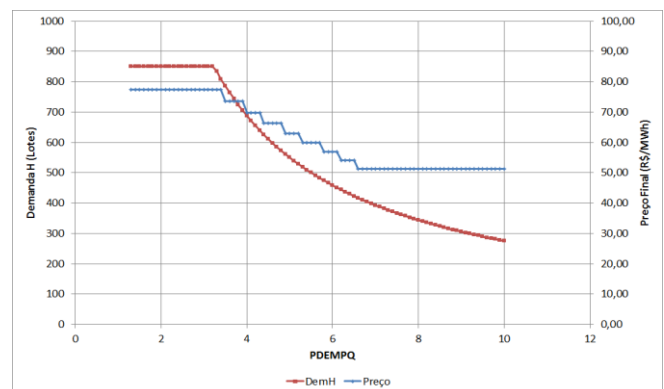


Figura 42. PDEMPQ variável - Caso 1

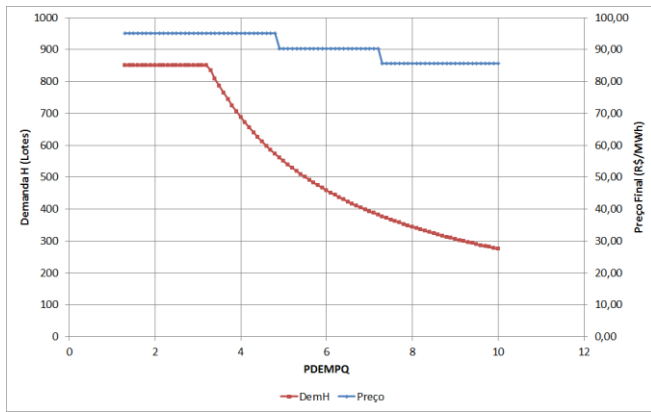


Figura 43. PDEMPQ variável - Caso 1

Com o aumento de PDEMPQ temos uma redução do fator (QOPQ/PDEMPQ). A quantidade demandada pelo produto quantidade é determinada por este fator quando ele fica menor que  $(1 - FDEMPD) * Q_{total}$ . Nos gráficos acima vemos a redução da demanda na etapa quantidade com o aumento do parâmetro PDEMPQ.

O preço final do leilão apresenta redução com o decréscimo da demanda da etapa quantidade e alcança menores valores no caso 1.

### G. Quantidade disponível total

Neste item a quantidade disponível de cada jogador é variada proporcionalmente, multiplicando-se a quantidade apresentada no início do documento, nas tabelas I e II, por um fator que varia de 0,1 à 5.

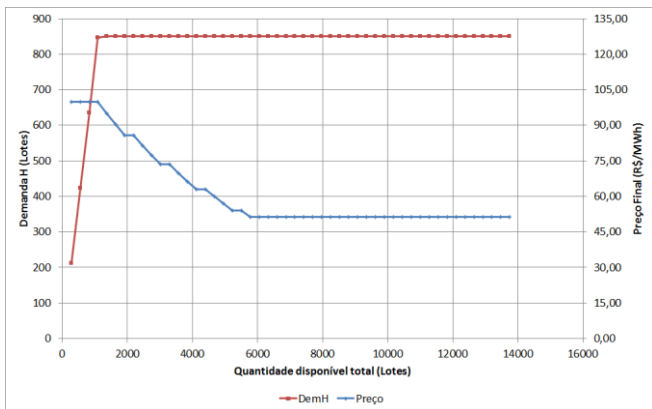


Figura 44. Quantidade Disponível variável - Caso 1

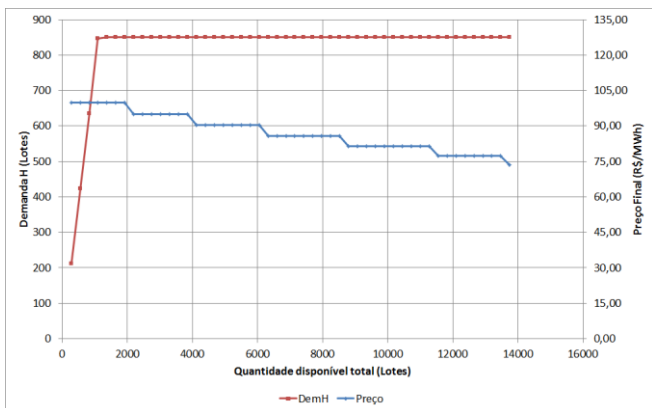


Figura 45. Quantidade Disponível variável - Caso 2

O aumento da oferta disponível para o leilão eleva a quantidade demandada para a etapa quantidade até o limite da restrição de demanda mínima da etapa disponibilidade.

O preço final decresce com o aumento da oferta devido à competição entre os geradores. Este efeito é mais bem visualizado no caso 1 onde as geradoras mais avessas ao risco são mais representativas no leilão.

## V. CONCLUSÕES

O projeto proporcionou o desenvolvimento de metodologias para a definição da estratégia de participação de geradoras em leilões de energia e culminou no desenvolvimento de um software de simulação.

A metodologia desenvolvida em torno na análise de carteira e do conceito de aversão ao risco dos geradores pode ser utilizada por agentes de geração para a definição de sua estratégia de participação em leilões. Esta metodologia se mostrou bastante promissora para a realização de futuros estudos como: avaliação de diversos ativos representando contratos no ACL e no ACR no horizonte de contratação do leilão que está sendo realizado; aplicação da metodologia a leilões multi-produtos; aplicação da metodologia a leilões de disponibilidade; aplicação da metodologia a leilões de energia nova; avaliação da propensão ao risco das geradoras a partir de sua atual carteira de contratos, taxa interna de retorno, perfil dos acionistas; etc.

O software implementado permite que a concessionária faça treinamentos de leilões de energia com as equipes designadas para esta atividade e possibilita a definição de estratégias de participação em leilões reais de acordo com cenários previamente determinados.

O estudo de caso forneceu informações relevantes para a definição dos parâmetros de entrada do modelo, definidos pelos órgãos reguladores.

## VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M ARKOWITZ, H. Portfolio Selection. Journal of Finance (USA) 7 (March 1952).
- [2] Sharpe, W. F. Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk. Journal of Finance, 19 (3), 425-442 (1964)
- [3] DANTHINE, J.-P.; DONALDSON, J. Intermediate Financial Theory. 2ª ed. Elsevier, 2005.pp. 876-880. Disponível: <http://www.halcyon.com/pub/journals/21ps03-vidmar>
- [4] ROSS, S.; JAFFE, J.; WESTERFIELD, R. Administração Financeira – Corporate Finance. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- [5] ELTON, E. et al. Moderna Teoria de Carteiras e Análise de Investimentos. Tradução Antonio Zoratto Sanvicente. São Paulo: Atlas, 2004.
- [6] SAATY, Thomas. Método de Análise Hierárquica, Makron Books do Brasil Editora Ltda. e Editora McGraw-Hill do Brasil, Rio de Janeiro: 1991.
- [7] GUARNIER, E. et al. Simulador de estratégias de participação em leilões de energia para geradores. VI CITENEL, Brasil, 2011.