

VALOR ADICIONADO AOS CONSUMIDORES LIVRES DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL POR CONTRATOS FLEXÍVEIS: UMA ABORDAGEM PELA TEORIA DAS OPÇÕES

Leonardo Lima Gomes

E-mail: leonardolima@iag.puc-rio.br

IAG - Pontifícia Universidade Católica – Rio - RJ / Brasil

Ivone Gonçalves Luiz

E-mail: ivone@fucape.br

Fundação Capixaba de Pesquisas em Administração Contabilidade e Economia – ES / Brasil

Recebido em 26/02/2007

Aprovado em 05/11/2008

Disponibilizado em 01/08/2009

Avaliado pelo sistema *double blind review*

Revista Eletrônica de Administração

ISSN 1413-2311 (versão on-line)

Editada pela Escola de Administração da
Universidade Federal do Rio Grande do
Sul.

Periodicidade: Quadrimestral

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Editor: Luís Felipe Nascimento

RESUMO

O processo de reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro, iniciado em 1997, propiciou o surgimento de um mercado livre de energia. O contrato bilateral que estabelece as quantidades de energia a serem entregues, a duração da entrega e o preço contratado tornou-se o principal instrumento de negociação neste cenário. Com o passar do tempo, os contratos no ambiente livre ficaram mais sofisticados, passando a incorporar flexibilidades como: permitir uma faixa de escolha por parte do comprador da quantidade de energia a ser entregue (opção de escolha da quantidade) ou; permitir que o comprador exerça o direito de parar ou reduzir substancialmente o consumo durante determinado intervalo pré-acordado (opção de redução). Este trabalho se propõe a responder o quanto pode valer estas flexibilidades embutidas nos contratos de energia elétrica no Brasil. As flexibilidades foram modeladas e avaliadas como opções de compra e de venda, utilizando-se simulação dos preços mensais de energia. Foram realizadas análises de sensibilidade em relação ao tamanho das flexibilidades, aos preços contratados e às taxas de desconto ajustadas ao risco. Com resultado verificou-se que o valor conjunto (agregado aos consumidores) das opções de escolha da quantidade e de redução pode ultrapassar 20% do valor do contrato no mercado livre brasileiro.

Palavras-chaves: opções, energia elétrica, contratos, flexibilidade, mercado de energia.

ADDED VALUE TO ELECTRIC POWER FREE CONSUMERS IN BRAZIL BY FLEXIBLE CONTRACTS: AN APPROACH BY THE OPTIONS THEORY**ABSTRACT**

The process of restructuring the Brazilian electricity sector, begun in 1997, has given rise to a market for free negotiation of power supply between large consumers and producers. The bilateral agreements establishing the quantities of energy to be delivered, duration and price have become the main negotiating instrument in this scenario. With the passage of time, these power supply agreements have become more sophisticated, incorporating more flexible features. Among these are the options by the purchaser to choose the quantity of energy to be supplied (amount option) or to substantially reduce the amount or even to cease the supply during a predetermined interval (reduction option). This study examines the value of these flexibilities in the Brazilian electricity market. We modeled and valued the flexibilities as call and put options, using monthly energy price simulations, and ran sensitivity tests in relation to the size of the flexibilities, the prices contracted and the risk-adjusted discount rates. The results provide evidence that the joint value (aggregated to consumers) of the options for choice of quantity and reduction can exceed 20% of the contract value.

Keywords: options, electricity, contracts, flexibility, electricity market.

1 - Introdução

Até 1997 o Setor Elétrico Brasileiro (SEB) era basicamente um monopólio estatal administrado por empresas federais e estaduais. A partir do segundo semestre do mesmo ano foram iniciadas as privatizações e, em paralelo, uma forte reestruturação do setor.

A partir de então, o SEB passou a experimentar um acentuado processo de mudança, iniciado nos moldes do Projeto de Reestruturação do Setor (Projeto RE-SEB), coordenado pelo Ministério de Minas e Energia, tendo como algumas das principais características:

- A desverticalização da produção, transmissão, distribuição e comercialização;
- Os segmentos de produção e comercialização passaram a ser uma atividade competitiva com preços contratados definidos pelo mercado;
- O livre acesso dos geradores e comercializadores às redes de transmissão e distribuição;
- Criação do Mercado Atacadista de Energia (MAE) hoje chamado de Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), ambiente onde a livre competição deve condicionar a formação de preços;

O processo de reestruturação iniciado em 1997 propiciou o surgimento de um mercado livre de energia, fundamentalmente, entre geradoras, comercializadoras e empresas com

grande consumo de energia (consumidores livres). O contrato bilateral, que estabelece basicamente as quantidades a serem entregues, a duração e o preço contratado, tornou-se o principal instrumento de negociação entre os agentes do setor.

De acordo com o decreto nº 5.163 de 30 de Julho de 2004, regulamentou-se a existência do Ambiente de Contratação Livre (ACL), definido como o segmento do mercado no qual se realizam as operações de compra e venda de energia elétrica, objeto de contratos bilaterais livremente negociados, conforme regras e procedimentos de comercialização específicos.

A importância do mercado livre no Brasil fica evidenciada na Tabela 1, do consumo por classe registrado em Dez/2006, uma parcela de 18,8% deve-se à classe do consumidor livre.

Tabela 1 – Percentual do Consumo por Classe em Dez/2006

Classe do Agente	Consumo Total Registrado [MWh]	Percentual
Autoprodutor	1.787.639,91	5,0%
Comercializador	7.252,76	0,0%
Consumidor Livre	6.692.731,58	18,8%
Distribuidor	26.056.148,69	73,2%
Gerador	800.212,77	2,2%
Importador	0	0,0%
Produtor Independente	260.807,85	0,7%
Total	35.604.793,57	100,0%

Fonte: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE)

Devido a algumas necessidades dos compradores de energia elétrica, reveladas a partir da incapacidade de prever exatamente o consumo, com o passar do tempo os contratos bilaterais ficaram mais sofisticados. Estes passaram a incorporar algumas flexibilidades como: permitirem uma faixa de escolha por parte do comprador da quantidade de energia a ser entregue (opção de escolha da quantidade) ou; permitirem que o comprador exerça o direito de parar o consumo durante determinado intervalo pré-acordado (opção de redução).

A opção de escolha da quantidade surge devido ao anseio do comprador de ajustar a energia comprada ao seu consumo. Essa opção vale para todos os meses contratuais (considerando o mês como o período de apuração). Já a opção de redução surge no mercado como um produto capaz de adaptar o fornecimento às paradas programadas ou intempestivas da planta consumidora.

Assim, neste contexto, as flexibilidades embutidas nos contratos passaram a ter importante papel no mercado de energia elétrica. A questão chave que este trabalho se propõe a responder é: *Quanto podem valer as flexibilidades (opção de escolha da quantidade e opção de redução) embutidas em contratos de energia elétrica no Brasil?*

No sentido de responder a esta questão, as flexibilidades foram modeladas e avaliadas como opções financeiras (de compra e de venda), utilizando-se simulação dos preços mensais de energia denominados de Preços de Liquidação das Diferenças (PLDs). Foram realizadas análises de sensibilidade em relação ao tamanho das flexibilidades, aos preços contratados e às taxas de desconto.

O trabalho está organizado da seguinte forma, inicia-se com a revisão da literatura de finanças sobre opções. Em seguida, são descritas quais são as principais características do mercado brasileiro de energia elétrica, dos contratos de energia elétrica no Brasil e como as flexibilidades podem estar embutidas nestes instrumentos. Após a revisão da literatura e a descrição do mercado de energia elétrica, a metodologia é apresentada. Posteriormente, é realizado um exemplo numérico com dados e análises de sensibilidade que se aproximam da realidade do mercado brasileiro de energia elétrica, obtendo-se valores para as flexibilidades analisadas individual e conjuntamente. Em seguida, são feitas as conclusões deste estudo.

2 - Revisão da Literatura

2.1 - Teoria de Finanças Sobre Opções

As opções são exemplos de derivativos, ou seja, são ativos cujo valor deriva do valor de outros ativos de referência (ativo objeto).

Existem dois tipos de opções, as opções de compra e as de venda. Considerando a opção de compra, o proprietário da opção tem o direito de comprar o ativo objeto a um preço pré-determinado. No caso da opção de venda, o detentor da opção tem o direito de vender o ativo a um preço pré-determinado.

O preço pré-determinado é conhecido como preço de exercício da opção. As opções são classificadas como americanas quando podem ser exercidas em qualquer data, até o momento do vencimento, e classificadas como européias quando só podem ser exercidas na data do vencimento. É importante enfatizar que as opções dão ao proprietário o direito de exercício, mas não a obrigação.

Como há o direito e não uma obrigação de exercício e uma probabilidade de resultado positivo futuro em função do exercício, as opções têm valor, também chamado de prêmio.

No sentido de avaliar o prêmio de uma opção, o trabalho precursor no desenvolvimento da teoria de finanças sobre opções foi o de Black e Scholes (1972). Os autores desenvolveram uma equação de precificação de uma opção de compra obtida pela eliminação de arbitragem para uma carteira livre de risco montada com ações (ativo objeto) e opções sobre esta ação.

Igualando-se o retorno desta carteira à taxa de juros livre de risco, obteve-se uma equação diferencial estocástica cuja solução analítica representa o valor da opção.

A teoria de finanças sobre opções, inicialmente focada na opção como um derivativo do mercado financeiro, evoluiu principalmente na avaliação de flexibilidades embutidas em projetos e contratos. Esta teoria é conhecida como Teoria das Opções Reais.

2.2 - Teoria das Opções Reais

A literatura recente de análise de projetos e contratos vem descrevendo métodos de avaliação extremamente similares aos métodos tradicionais de opções financeiras. Essas novas metodologias são chamadas de Teoria das Opções Reais (TOR) (Trigeorgis, 1996; Amran e Kulatilaka, 1999) e são capazes de captar o valor da flexibilidade gerencial e mostram grande capacidade de explicar ações e negociações ocorridas no ambiente real do mercado.

Os métodos tradicionais de avaliação de projetos e contratos, como o Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno, são considerados de gerenciamento passivo. Entretanto, os gerentes continuamente decidem mudanças administrativas e operacionais face à resolução de incertezas, com objetivo de agregar valor ao projeto ou contrato. Tais flexibilidades são valiosas e devem ser incorporadas na análise. A TOR permite a incorporação de flexibilidades ante os métodos tradicionais de avaliação de investimentos.

Encontra-se na literatura estudos de opções reais em diferentes áreas e contextos corporativos, tais como: na avaliação de investimentos em mercados exteriores (Gauthier e Rouzeau, 1997), na avaliação de investimentos em tecnologia da informação (Kulatilaka, Balasubramanian e Storck, 1999), na determinação do valor de empresas de internet (Schwartz e Moon, 2000) e, até mesmo, para avaliar e planejar programas de televisão (Gerske, Kopca e Tochtermann, 2000).

As opções reais, ao contrário das opções financeiras, não possuem aditividade de valor. Isto significa que sinergias, criadas entre opções de um mesmo projeto ou projetos inter-relacionados, bem como interações com decisões financeiras da empresa, podem ser capturadas e avaliadas. (Trigeorgis, 1993).

Diretamente relacionado a este artigo, encontram-se trabalhos que se propuseram a avaliar opções embutidas em contratos comerciais. Um desses trabalhos foi o desenvolvido por Trigeorgis (1996), no qual se avalia opções embutidas em contratos de *leasing*.

Adicionalmente, há aplicações da teoria de opções ao setor elétrico. Algumas delas são citadas a seguir.

2.3 - Aplicações da Teoria de Finanças Sobre Opções ao Setor Elétrico

Deng, Johnson e Sogomonian (DJS) (1998) avaliaram termelétricas como opções e consideram que o custo do combustível representa o custo variável de operação e o preço de exercício das opções. Ethier (1999) fez uma avaliação semelhante, complementando o modelo de DJS, através da introdução da possibilidade de saltos no processo estocástico do preço da energia elétrica.

Winsen (1999) adicionou à formulação de DJS a possibilidade de proteção através de contratos de *swap* (troca de fluxos de caixa), nos quais a termelétrica concorda em pagar um preço flutuante de curto prazo em troca de recebimentos fixos. Foi realizado um estudo de caso de avaliação de uma termelétrica no mercado australiano, considerando diversas possibilidades de contratação.

Johnson, Nagali e Romine (1999) separaram a flexibilidade operacional por duração em flexibilidade mensal, diária e na ponta/fora da ponta. Utilizando a formulação de DJS, eles fazem uma comparação do valor de operar uma termelétrica entre as diferentes flexibilidades.

A operação de uma termelétrica possui restrições que reduzem o valor da flexibilidade operacional conforme foi mostrado por Tseng e Barz (1997). As restrições consideradas por eles foram: restrições de rampa, ou seja, restrições de tempo requerido para reiniciar a operação da planta e restrições de acoplamento, isto é, uma unidade de geração térmica não pode trocar entre o modo ligado e o modo desligado a uma frequência arbitrária, sendo necessária a permanência em um dos modos por um tempo mínimo.

3 - Características do Mercado Brasileiro de Energia Elétrica

Nesta seção, serão descritas características do mercado brasileiro de energia elétrica a fim de que se possa compreender a modelagem realizada neste trabalho. Inicia-se pelas características dos contratos bilaterais.

3.1 - Formato dos Contratos Bilaterais

A unidade básica negociada em contratos de energia elétrica é o *megawatt-hora* (MWh), sendo os preços negociados em *reais por megawatt-hora* (R\$/MWh). Um contrato deve especificar as quantidades de energia elétrica a serem entregues durante determinados intervalos de tempo. Por exemplo, seja um contrato especificado para dois meses de entrega, março e abril de 2006. O contrato determina que o fornecedor deverá entregar 74.400 MWh em março e 72.000 MWh em abril. Se o preço contratado for de 50 R\$/MWh, o faturamento do fornecedor deverá ser de R\$ 50x74.400 em março e de R\$ 50x72.000 em abril.

No exemplo anterior, ao se dividir a quantidade de energia em MWh pelo número de horas de cada mês, encontra-se o valor de 100 *megawatt* (MW) para ambos. É bastante comum, também, que a quantidade negociada esteja em MW, mais especificamente em MWmédio para indicar que é uma média no período. Assim, no exemplo, a quantidade negociada de 100 MWmédio para março e abril, equivale a 100x744 MWh em março e 100x720 MWh em abril.

Outro item básico a ser especificado no contrato é o local de entrega. O mercado brasileiro é dividido em quatro sub-mercados, sudeste/centro-oeste, sul, nordeste e norte, originados a partir das restrições de transmissão. Dependendo da situação do armazenamento de água, da oferta e da demanda, cada sub-mercado pode apresentar preços bastante diferentes. Daí a importância da especificação do local da entrega.

Exemplificando, considere um contrato com as seguintes características:

Ponto de Entrega: Centro de Gravidade do Submercado Sudeste/Centro-oeste;

Duração: Janeiro a Dezembro de 2007;

Quantidade: 50 MWmed;

Preço: 90 R\$/MWh.

A energia será entregue no submercado sudeste/centro-oeste sem perdas de distribuição de janeiro a dezembro de 2007 ao preço fixo de 90 R\$/MWh. As quantidades em MWh serão calculadas mensalmente pelo produto 50 MWmed x número de horas no mês.

3.2 - Flexibilidades Embutidas nos Contratos Bilaterais de Energia Elétrica no Brasil

A existência das flexibilidades é explicada por necessidades ou desejos dos agentes do mercado livre traduzidos em cláusulas contratuais. Um consumidor livre, por exemplo, necessita de flexibilidade para consumir, dado que os valores de consumo medidos consolidados mês a mês variam. Se esse consumidor contratar um suprimento de energia para exatamente o que consome, sua necessidade estará atendida. No entanto, a flexibilidade embutida de pagar exatamente pelo que consome não agrega valor ao seu contrato. Por um desejo e uma condição de mercado favorável, este consumidor poderá escolher a quantidade contratada. Aí sim, a flexibilidade terá valor como explicado a seguir.

Uma das principais flexibilidades é a permissão de uma faixa de escolha por parte do comprador da quantidade de energia a ser entregue (opção de escolha da quantidade). Normalmente, os contratos com essa flexibilidade especificam o intervalo de escolha em mais ou menos um percentual da quantidade contratada. Por exemplo, considerando uma

VALOR ADICIONADO AOS CONSUMIDORES LIVRES DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL POR CONTRATOS FLEXÍVEIS: UMA ABORDAGEM PELA TEORIA DAS OPÇÕES

quantidade contratada de 50 MWmed, o intervalo de escolha pode estar sendo especificado em $\pm 20\%$ dessa quantidade, ou seja, entre 40 (limite inferior) e 60 MWmed (limite superior).

Sendo assim, a cada período de apuração (geralmente mensal), o comprador poderá escolher a quantidade que quer comprar entre 40 e 60 MWmed ao preço contratado. Supondo que o comprador tenha de fato uma necessidade de 50 MWmed, por que então ele escolheria uma quantidade de suprimento diferente? Considerando que os preços de curto prazo (PLDs) em um determinado mês estejam abaixo do preço do contrato, o comprador poderia escolher comprar 40 MWmed ao preço contratado, e os 10 MWmed restantes a um preço menor que o contratado, gerando uma economia. Ao contrário, considerando que os preços de curto prazo em um determinado mês estejam acima do preço do contrato, o comprador poderia escolher comprar 60 MWmed ao preço contratado, e os 10 MWmed de excesso ele venderia no mercado de curto prazo a um preço maior, gerando um ganho adicional. Observa-se então que a opção de escolha da quantidade agrega valor ao contrato.

Outra flexibilidade importante, embutida em alguns contratos de energia, é a permissão que o comprador exerça o direito de parar ou reduzir substancialmente o consumo/a entrega durante determinado intervalo pré-acordado (opção de redução). Conceitualmente, esta opção deveria contemplar a interrupção completa do fornecimento uma vez que está condicionada a paradas normalmente programadas das unidades consumidoras. No entanto, como a apuração (exercício) da opção é mensal e em várias situações práticas as paradas ocorrem em períodos menores que um mês, pode-se necessitar de reduções mensais significativas não sendo exatamente uma interrupção total do contrato.

O que diferencia a redução da opção de escolha da quantidade e da opção de redução é o tamanho da redução, explicado pelo fato que originou cada opção. Normalmente, a opção de escolha da quantidade não ultrapassa 20%. Já no caso da opção de redução, a redução é substancial por estar condicionada a paradas das unidades consumidoras, normalmente de no mínimo 50% até uma interrupção total.

O intervalo pré-acordado pode ser, por exemplo, todo mês de dezembro incluído no período de vigência do contrato. Se a redução permitida for parcial, o contrato também deverá especificar o tamanho, sendo em geral um percentual da energia contratada. Por exemplo, uma redução permitida de 60% de uma energia contratada de 50 MWmed, corresponderia a uma redução permitida de 30 MWmed. Um comprador exerce a opção de redução quando os preços de curto prazo são menores que o preço contratado.

Os valores agregados por estas flexibilidades só existem porque há um mercado de curto prazo onde as opções podem ser exercidas. Os preços que balizam os preços de curto

prazo são os estabelecidos pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). A CCEE publica os Preços de Liquidação das Diferenças (PLDs) semanais e um preço médio mensal de referência (média ponderada dos PLDs semanais). A seção seguinte explica como esses preços são calculados e como podem ser simulados.

Existem outras flexibilidades embutidas em contratos de energia elétrica no Brasil que não estão consideradas neste trabalho, tais como: a de extensão do período de contratação ao preço contratado, a flexibilidade de sazonalização (rearranjo das quantidades mensais contratadas mantendo-se constante a quantidade anual) e a flexibilidade de modulação (rearranjo de quantidades dentro do mês mantendo-se constante a quantidade mensal contratada).

3.3 - Formação e Simulação dos Preços de Liquidação das Diferenças (PLDs)

O PLD é utilizado para liquidar a compra e a venda de energia no mercado de curto prazo. A formação do preço da energia comercializada no mercado de curto prazo se faz pela utilização dos dados considerados pelo Operador Nacional do Sistema (ONS) para a otimização da operação. O significado do PLD dentro do contexto da otimização da operação será explicado na seção 3.5.

O Brasil adotou um esquema de decisão de operação (geração de energia elétrica) centralizado realizado por modelos acoplados de otimização (atualmente, um modelo de médio prazo que está acoplado a um de longo prazo, chamado Newave) cujo objetivo é minimizar o custo total de operação do sistema hidrotérmico ao longo de um horizonte de planejamento. Esses modelos utilizam o método de programação dinâmica dual estocástica (Pereira e Pinto, 1991). A fim de conceituar melhor a formação de preço no sistema hidrotérmico brasileiro, torna-se necessária uma abordagem sobre como é feita a operação sob uma ótica econômica. As seções a seguir apresentam essa abordagem.

3.4 - Operação de um Sistema Hidrotérmico

A característica mais evidente de um sistema com geração hidroelétrica é poder utilizar a energia “grátis” que está armazenada nos reservatórios para atender à demanda evitando, desta maneira, gastos de combustível com as unidades térmicas. Entretanto, a disponibilidade de energia hidro está limitada pela capacidade de armazenamento nos reservatórios. Isto introduz uma dependência entre a decisão operativa de hoje e os custos operativos no futuro.

Em outras palavras, se utilizarmos hoje as reservas de energia hidro, com o objetivo de minimizar os custos térmicos, e ocorre uma seca severa no futuro, pode haver um

VALOR ADICIONADO AOS CONSUMIDORES LIVRES DE ENERGIA ELÉTRICA NO
BRASIL POR CONTRATOS FLEXÍVEIS: UMA ABORDAGEM PELA TEORIA DAS
OPÇÕES

acionamento de custo elevado para a sociedade. Se, por outro lado, preservamos as reservas de energia hidro através de um uso mais intenso de geração térmica, e as afluências futuras são elevadas, pode ocorrer um vertimento nos reservatórios do sistema, o que representa um desperdício de energia e, conseqüentemente, um aumento no custo operativo. Esta situação está ilustrada na Figura 1.

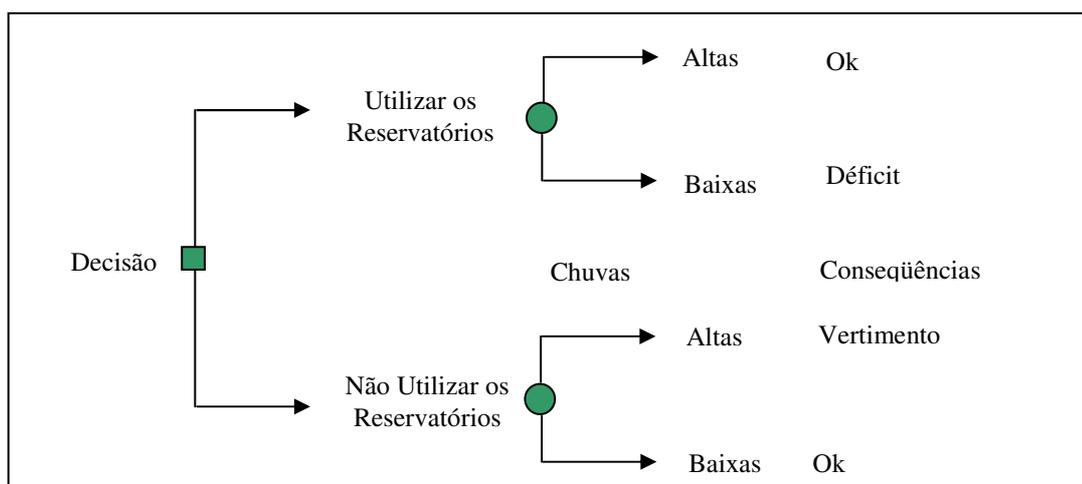


Figura 1 - Processo de Decisão para Sistemas Hidrotérmicos

O operador de um sistema hidrotérmico deve comparar o benefício imediato do uso da água e o benefício futuro de seu armazenamento, conforme ilustrado na Figura 2.

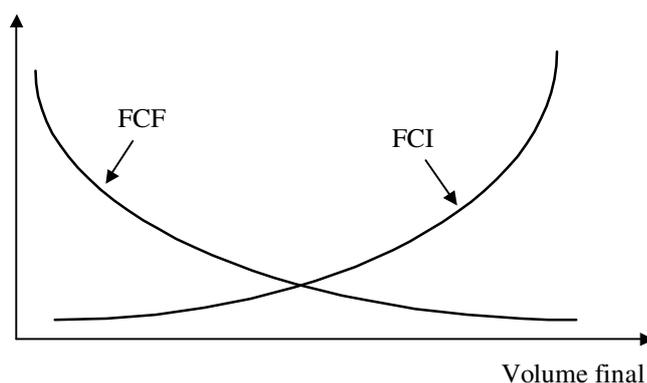


Figura 2 – Custo imediato e Futuro

A *função de custo imediato* - FCI - representa os custos de geração térmica no estágio t , ou seja, no estágio imediato, presente. Observa-se que o custo imediato aumenta à medida que diminui a energia hidro disponível, isto é, quanto menor for a decisão de geração hídrica, maior será a de geração térmica.

Por sua vez, a *função de custo futuro* - FCF - está associada ao custo esperado de geração térmica e racionamento do final do estágio t (início de $t+1$) até o final do período de estudo. Esta função diminui à medida que aumenta o volume armazenado final, pois haverá mais energia hidro disponível no futuro.

O uso ótimo da água armazenada corresponde ao ponto que minimiza a soma dos custos imediato e futuro. Como é mostrado na Figura 3, o ponto de mínimo custo global também corresponde ao ponto onde as derivadas da FCI e da FCF com relação ao armazenamento de água se igualam. A derivada da FCI e da FCF no ponto ótimo também é conhecida como

valor da água, pois representa a taxa custo R\$ (ou valor) por volume de água deixado no reservatório para formar o volume final.

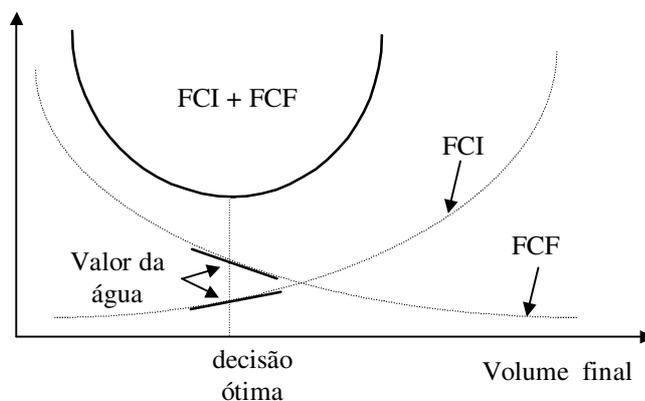


Figura 3 - Uso Ótimo da Água

3.5 - Cálculo do PLD

Será apresentado, mais detalhadamente, como é realizada a decisão de operação sob a ótica econômica e calculado o PLD. Na formulação a seguir, estamos supondo que a função de custo futuro para cada estágio foi calculada. O problema de decisão da operação hidrotérmica para o estágio t é formulado como:

$$z_t = \text{Min} [c_j \times g_{tj} + \text{FCF}(v_{t+1})]$$

Sujeito às seguintes restrições operativas:

- Balanço hídrico;
- Limites de armazenamento de água e turbinamento;
- Limites na geração térmica;
- Atendimento à demanda.

A função objetivo é minimizar a soma de duas classes de custos:

- *Custo operativo imediato* - dado pelos custos térmicos $\{c_j \times g_{tj}\}$ no estágio t . Onde c_j é o custo variável da térmica j e g_{tj} é a geração da térmica j no estágio t . O racionamento é representado por uma térmica fictícia de capacidade infinita e custo operativo igual ao custo de interrupção.
- *Valor esperado do custo operativo futuro* - dado pela função de custo futuro $\text{FCF}(v_{t+1})$. Também como discutido anteriormente, esta função depende dos volumes armazenados ao final do estágio, representados pelo vetor v_{t+1} .

O problema de otimização pode ser resolvido por um algoritmo de programação linear. Além da decisão operativa ótima, o esquema de programação calcula os multiplicadores

simplex, ou preços sombra, associados a cada restrição. Em particular, o PLD do sistema é o multiplicador simplex associado à restrição de atendimento à demanda, significando o custo de produção de 1 MWh adicional no ponto ótimo de minimização de custos (em R\$/MWh).

Após a revisão da literatura e já abordados os conceitos sobre o mercado brasileiro de energia elétrica necessários ao entendimento da modelagem, a metodologia de modelagem e cálculo das flexibilidades como opções pode ser explicada.

4 - Metodologia

4.1 - Modelagem das Flexibilidades

A opção de escolha da quantidade será modelada, para cada mês do contrato, como a soma de uma opção de compra com uma opção de venda. Considerando uma quantidade contratada de 50 MWmed com o intervalo de escolha em $\pm 20\%$, o comprador terá uma opção de compra de 10 MWmed e uma opção de venda de 10 MWmed para cada mês do contrato, sendo o preço de exercício o contratado. A Figura 4 ilustra as duas opções.

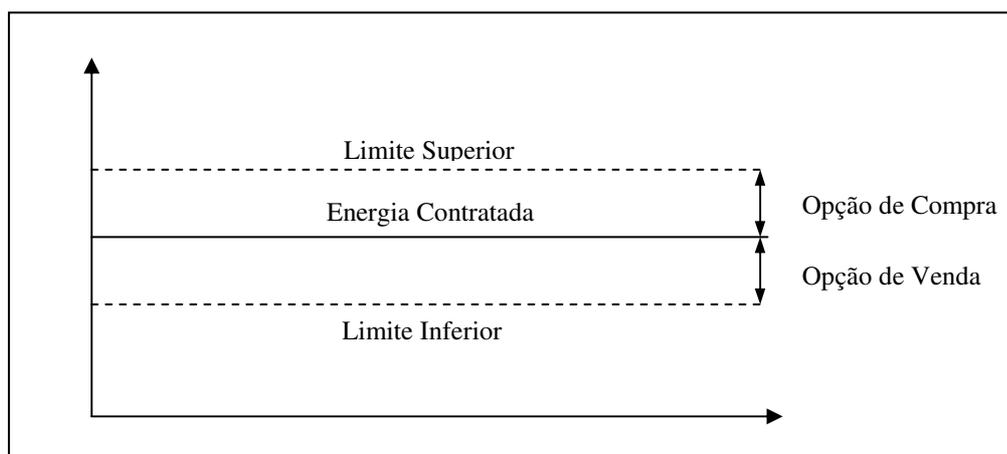


Figura 4 – Ilustração da Modelagem da Opção de Escolha da Quantidade

O valor da opção de escolha da quantidade ($OEQ_{0,t}$) em $t=0$ para um determinado momento t de exercício será igual à soma do valor em $t=0$ da opção de compra ($OC_{0,t}$ - exercício em t) com o valor em $t=0$ da opção de venda ($OV_{0,t}$) com momento de exercício em t . Ou seja:

$$OEQ_{0,t} = OC_{0,t} + OV_{0,t}$$

Sendo:

$$OC_{0,t} = E_0(OC_t) / (1+k)^t \quad ; \quad OC_t = \max (0, E_t^{\text{compra}}(PLD_t - P_t^c)) \quad (1)$$

$$OV_{0,t} = E_0(OV_t) / (1+k)^t \quad ; \quad OV_t = \max (0, E_t^{\text{venda}}(P_t^c - PLD_t)) \quad (2)$$

VALOR ADICIONADO AOS CONSUMIDORES LIVRES DE ENERGIA ELÉTRICA NO
BRASIL POR CONTRATOS FLEXÍVEIS: UMA ABORDAGEM PELA TEORIA DAS
OPÇÕES

Onde:

P_t^c – Preço contratado de energia em t

E_t^c – Energia contratada no instante (mês) t

E_t^{compra} – Montante de energia embutido na opção de compra

E_t^{venda} – Montante de energia embutido na opção de venda

PLD_t – Média mensal do Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) no mês t

OC_t – Valor da opção de compra no instante t (momento de exercício)

OV_t – Valor da opção de venda no instante t (momento de exercício)

k – taxa de desconto ajustada ao risco

O valor das opções de compra e de venda é, portanto, obtido como o valor esperado dos pagamentos simulados das opções descontado a valor presente. Este método de avaliação é usualmente empregado em finanças para avaliar opções (Hull, 2003, p. 493), (Pilipovic, 1997, p. 134), porém normalmente utilizando taxas de desconto neutras ao risco.

Em relação à taxa de desconto (k), da teoria de finanças, ao se avaliar um derivativo de um ativo base, se for possível montar uma carteira livre de risco com ambos, a taxa de desconto apropriada para avaliar o derivativo é a taxa livre de risco. Caso não seja viável assumir a premissa que é possível montar uma carteira livre de risco, utiliza-se uma taxa de desconto ajustada ao risco (Dixit e Pindyck, 1994, p. 114). Neste trabalho, sendo o mercado brasileiro de energia elétrica insipiente, optou-se por assumir que não é possível montar carteiras livres de risco. Assim, a taxa de desconto será considerada uma taxa ajustada ao risco. Não se sabe exatamente qual é a taxa, mas, estima-se qual o intervalo em que a mesma se encontra.

A flexibilidade é válida para todos os intervalos de apuração (meses) ao longo do contrato. Assim, o valor total da flexibilidade de escolha da quantidade ($VOEQ_{0,i,T}$) será igual ao somatório dos valores de todas as opções de escolha da quantidade ($OEQ_{0,t}$) em $t=0$ para t, variando do instante em que o contrato inicia ($t = i$) até o momento em que o contrato termina ($t = T$).

$$VOEQ_{0,i,T} = \sum_{t=i}^{t=T} OEQ_{0,t} \quad (3)$$

A opção de redução, ou seja, a permissão que o comprador exerça o direito de parar ou reduzir substancialmente a quantidade de energia durante determinado intervalo pré-acordado será modelada como uma opção de venda. Supondo que o intervalo pré-acordado seja todo mês de dezembro incluído no período de vigência do contrato e que a redução permitida seja

de 60% sobre uma energia contratada de 50 MWmed, um comprador terá a opção de redução de 30 MW (E_t^{venda}) em todo mês de dezembro ao longo do contrato, exercendo esta opção quando os PLDs forem menores que o preço contratado.

O valor da opção de redução ($OR_{0,t}$) em $t=0$ para um determinado instante t de exercício será igual a:

$$OR_{0,t} = E_0(OR_t) / (1+k)^t \quad ; \quad OR_t = \max (0, E_t^{\text{venda}} (P_t^c - PLD_t)) \quad (4)$$

Onde:

P_t^c – Preço contratado de energia em t

E_t^{venda} – Montante de energia embutido na opção de venda

PLD_t – Média mensal do Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) no mês t

OR_t – Valor da opção de redução no instante t (momento de exercício)

k – taxa de desconto ajustada ao risco

Sendo a flexibilidade válida para todos os intervalos pré-acordados ao longo do contrato, o valor total das opções de redução ($VOR_{0,t1,tn}$) será igual ao somatório dos valores de todas as opções de redução ($OR_{0,t}$) em $t=0$, considerando todos os n possíveis momentos de exercício ($t = t1$ a $t = tn$).

$$VOR_{0,t1,tn} = \sum_{t=t1}^{t=tn} OR_{0,t} \quad (5)$$

4.2 - Cálculo e Simulação dos PLDs

Neste trabalho, para formar e simular os PLDs, foi utilizado o modelo Newave (elaborado pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) versão 11.2/2004) que otimiza a estratégia de geração de longo prazo de acordo com o conceito apresentado nas seções anteriores, formando preços com discretização mensal.

O PLD é limitado a um piso e um teto de preço definidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

O modelo Newave possui dois módulos. No primeiro é calculada a política ótima de operação ao longo do horizonte de planejamento, representando um “mapa de decisão” em função do que vier a ocorrer ou ser simulado em termos de aflúncias (chuvas) aos reservatórios. No segundo módulo são feitas simulações do custo marginal de operação.

Neste estudo, após a utilização do modelo Newave para calcular a política ótima de operação hidrotérmica ao longo de um período de planejamento, será feita uma simulação

VALOR ADICIONADO AOS CONSUMIDORES LIVRES DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL POR CONTRATOS FLEXÍVEIS: UMA ABORDAGEM PELA TEORIA DAS OPÇÕES

com a qual se obtêm séries de custos marginais de operação, e, aplicando-se os limites, obtêm-se séries de PLDs. A simulação será realizada mediante a geração de séries sintéticas de afluições aos reservatórios utilizando um modelo periódico auto-regressivo (PAR(p)) de séries temporais (Maceira e Bezerra, 1997).

É importante ressaltar que o modelo Newave é utilizado na formação dos preços de curto prazo (PLD) publicados na CCEE.

Os PLDs foram simulados (2.000 séries) para o horizonte do contrato a partir do modelo Newave. Foram utilizados os dados de entrada empregados no programa mensal de operação de fevereiro/2004 coordenado pelo ONS. Foram considerados um piso de preço de 17,60 R\$/MWh e um teto de 534,30 R\$/MWh regulados pela ANEEL a partir da audiência pública AP046/2003.

A grande diferença entre o piso de 17,60 R\$/MWh e o teto de 534,30 R\$/MWh é explicada pelas condições de operação de um sistema hidrotérmico. Quando há água armazenada em excesso, o preço da energia é quase nulo. Para garantir uma receita mínima aos geradores ou outros agentes que têm sobra de energia, a ANEEL estabelece o piso. Em momentos quando o nível médio dos reservatórios de água está muito baixo e há chuvas muito abaixo da média, necessita-se contar com a geração de termelétricas com custos variáveis de operação da ordem de 400 a 500 R\$/MWh (termelétricas à óleo diesel). O teto é estabelecido a fim de se garantir a operação de praticamente todas as termelétricas.

Na próxima seção, realiza-se um exemplo numérico de cálculo das flexibilidades embutidas, apresentando-se os resultados de diversas análises de sensibilidade para a obtenção do valor das opções.

5 - Exemplo Numérico

5.1 - Características do Contrato Estudado (Caso Base)

Será estudado um contrato sendo negociado em fevereiro/2004 ($t=0$) com as seguintes características:

Ponto de Entrega: Centro de Gravidade do Submercado Sudeste/Centro-oeste;

Duração: Julho/2007 ($t=i=5$) a Dezembro/2008 ($t=T=34$);

Quantidade Nominal: 50 MWmed;

Preço: 90 R\$/MWh;

Opção de Escolha da Quantidade: $\pm 10\%$;

Opção de Redução: Redução total nos meses de dezembro.

Ressalta-se que o contrato foi negociado em fevereiro/2004 nas condições do mercado naquele mês, no entanto, o início da entrega da energia ocorre em julho/2007. É comum no mercado livre de energia elétrica que empresas já negociem contratos cujo início de fornecimento ocorre alguns anos à frente.

Salienta-se também que para o caso base, a opção de escolha da quantidade terá uma flexibilidade de $\pm 10\%$. Ou seja, durante a análise de sensibilidade quando as demais variáveis forem alteradas, a flexibilidade se manterá em $\pm 10\%$. Há uma análise de sensibilidade na qual o valor da flexibilidade muda. Nesta análise, a flexibilidade máxima considerada será de $\pm 20\%$.

A variação máxima de $\pm 20\%$ na opção de escolha da quantidade foi definida com base nas condições de mercado para este tipo de flexibilidade. Para justificar a escolha da variação máxima, foi feita a seguinte pergunta consultando-se a carteira de dois grandes agentes do mercado de energia: Qual é a flexibilidade máxima passível de exercício em todos os meses contratuais considerando toda a sua carteira de contratos de compra ou de venda?

As carteiras das empresas consultadas foram a da NCenergia (comercializadora do grupo Neoenergia) e a da Cesp Geração. No caso da NCenergia a resposta foi 15% e no caso da Cesp 20%.

Para o caso base, foi considerada uma taxa de desconto real ajustada ao risco de 8% ao ano, podendo variar entre 5 e 15% ao ano na análise de sensibilidade.

5.2 - Simulação dos PLDs

Considerando os preços simulados, o gráfico a seguir apresenta os valores médios mensais, assim como alguns percentis variando de 10 a 90%. Comparando-se estes valores, observa-se que as distribuições de densidade de probabilidade mensais são bastante assimétricas atribuindo probabilidades mais altas a intervalos de preços menores. As médias mensais são substancialmente superiores à mediana durante todo o tempo.

VALOR ADICIONADO AOS CONSUMIDORES LIVRES DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL POR CONTRATOS FLEXÍVEIS: UMA ABORDAGEM PELA TEORIA DAS OPÇÕES

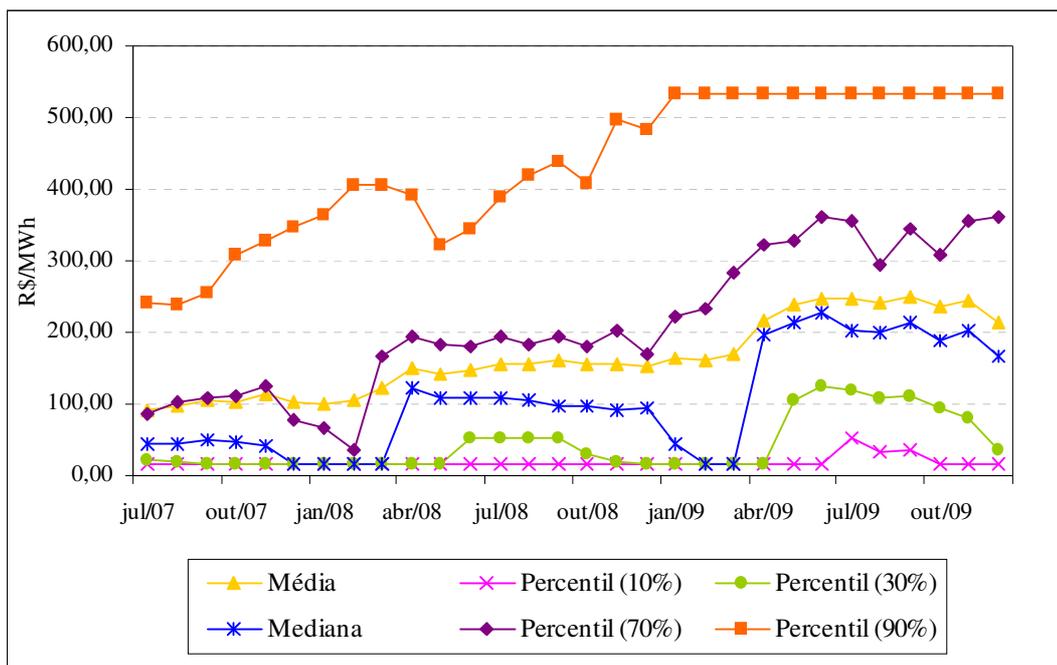


Figura 5 – Evolução de Algumas Estatísticas Mensais

Complementando a figura anterior, o gráfico a seguir apresenta distribuições de probabilidade mês a mês para quatro intervalos de preços. Observa-se grande probabilidade de preços baixos. A probabilidade dos preços estarem entre o piso e 20 R\$/MWh é de aproximadamente 25% na média do período, e dos preços estarem abaixo de 50 R\$/MWh encontra-se em torno de 50% na média do período.

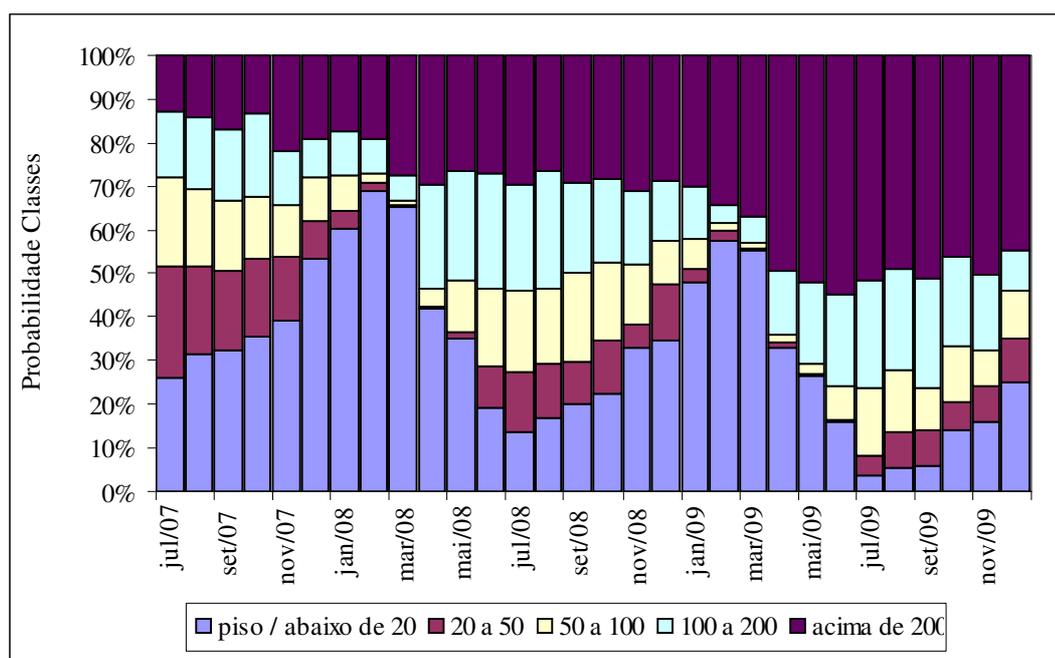


Figura 6 – Distribuições de Probabilidade Mensais (Preços em R\$/MWh)

5.3 - Análise de Sensibilidade e Resultados

Cada opção será analisada separadamente em relação a algumas variáveis. Para facilitar comparações dos valores das opções com os preços contratados, os valores serão calculados em R\$/MWh obtidos pela divisão dos valores originais das opções em R\$ pela quantidade de energia nominalmente contratada em MWh. Será obtido também o valor conjunto das opções, pois nem sempre o valor conjunto das opções é igual à soma dos valores individuais de cada uma delas (Trigeorgis, 1993). Isto será verificado neste trabalho.

Foram feitas análises de sensibilidade em relação ao tamanho da flexibilidade, ao preço contratado, e à taxa real de desconto. Em cada análise de sensibilidade, as premissas do caso base são mantidas excetuando-se a variável que está sendo analisada.

5.3.1 - Análise de Sensibilidade: Valor da Opção de Escolha da Quantidade

Começando pela opção de escolha da quantidade, observa-se pela Figura 7 que seu valor total sobe até em torno de 23,15 R\$/MWh (corresponde a mais que 25% do preço contratado) para uma flexibilidade de $\pm 20\%$. O ganho de valor a cada $\pm 1\%$ de flexibilidade adicional é de 1,16 R\$/MWh. Observa-se também que o valor das opções de venda é superior ao valor das opções de compra. Isto ocorre devido aos preços simulados apresentarem probabilidade bem maior de ficarem perto do piso e bem abaixo do preço de contrato.

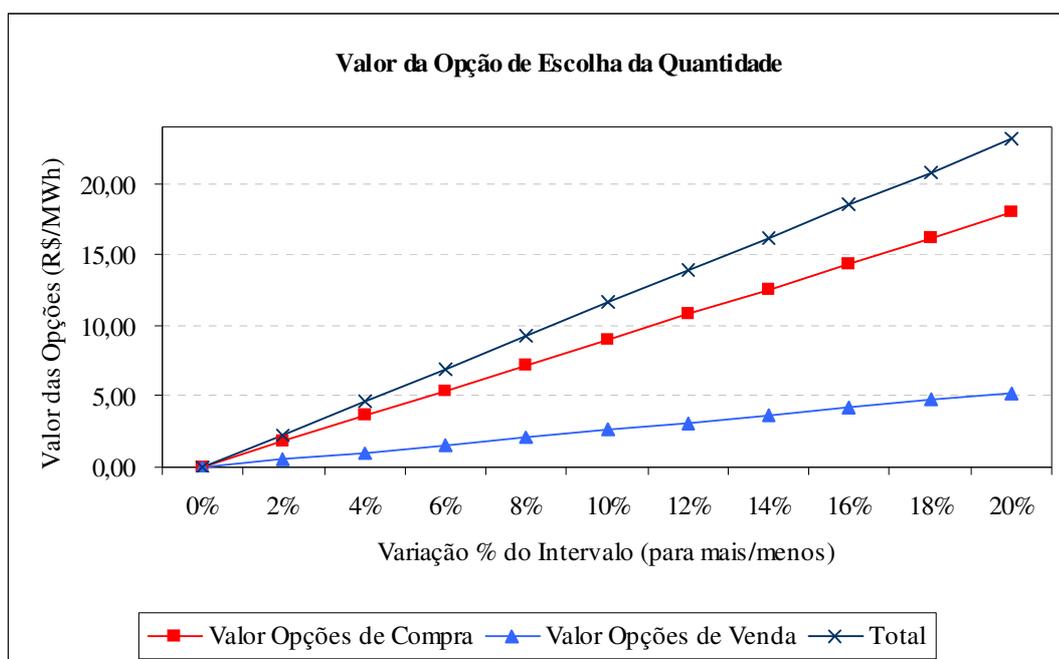


Figura 7 – Valor da Opção de Escolha da Quantidade x Flexibilidade (%)

Em relação ao preço contratado, observa-se pela Figura 8 que o valor total da opção encontra-se em torno de 11,50 R\$/MWh quase não variando para preços contratados de 80 a

VALOR ADICIONADO AOS CONSUMIDORES LIVRES DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL POR CONTRATOS FLEXÍVEIS: UMA ABORDAGEM PELA TEORIA DAS OPÇÕES

100 R\$/MWh. Observa-se também que, aumentando-se o preço contratado (preço de exercício) o valor das opções de compra decresce a uma taxa maior que a taxa de crescimento do valor das opções de venda. Ressalta-se que a linearidade ocorre porque a sensibilidade é feita sobre o preço de exercício. É amplamente conhecido que o valor de opções varia de forma não linear quando calculado em função do preço do ativo objeto (aqui os PLDs).

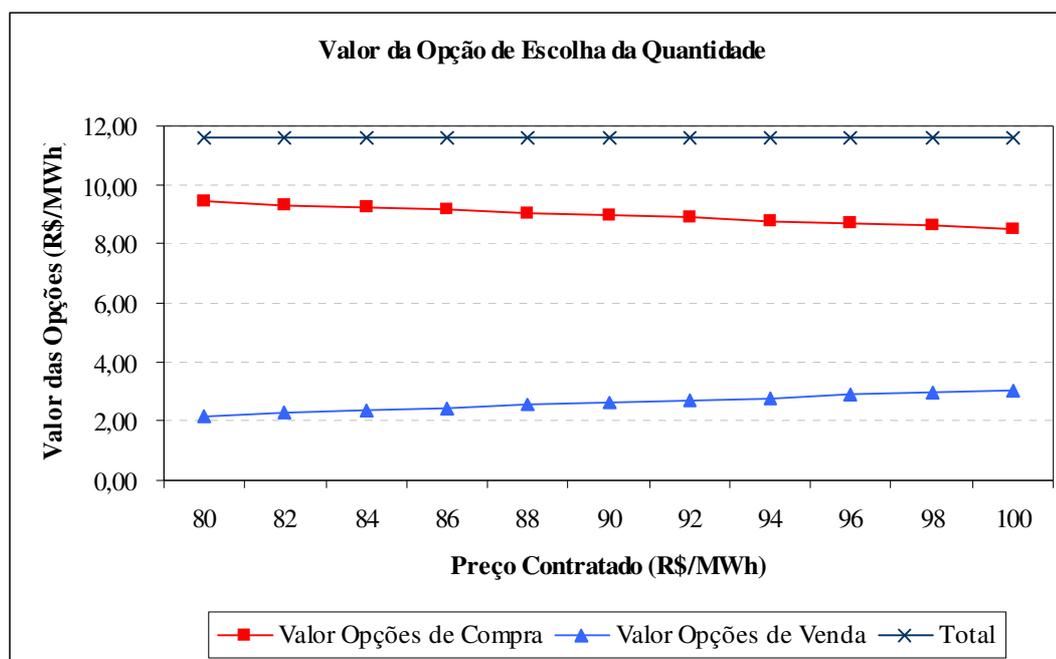


Figura 8 – Valor da Opção de Escolha da Quantidade x Preço Contratado

Em relação à taxa de desconto ajustada ao risco, observa-se pela Figura 9 que se segue que o valor total da opção varia entre 12,17 e 10,37 R\$/MWh para taxas de desconto entre 5 e 15% respectivamente. Portanto, apesar de não se conhecer com precisão a taxa de desconto, sabe-se que o valor da opção de escolha da quantidade varia pouco com as taxas de desconto comparando-se com as sensibilidades em relação às outras variáveis estudadas, principalmente em relação à flexibilidade.

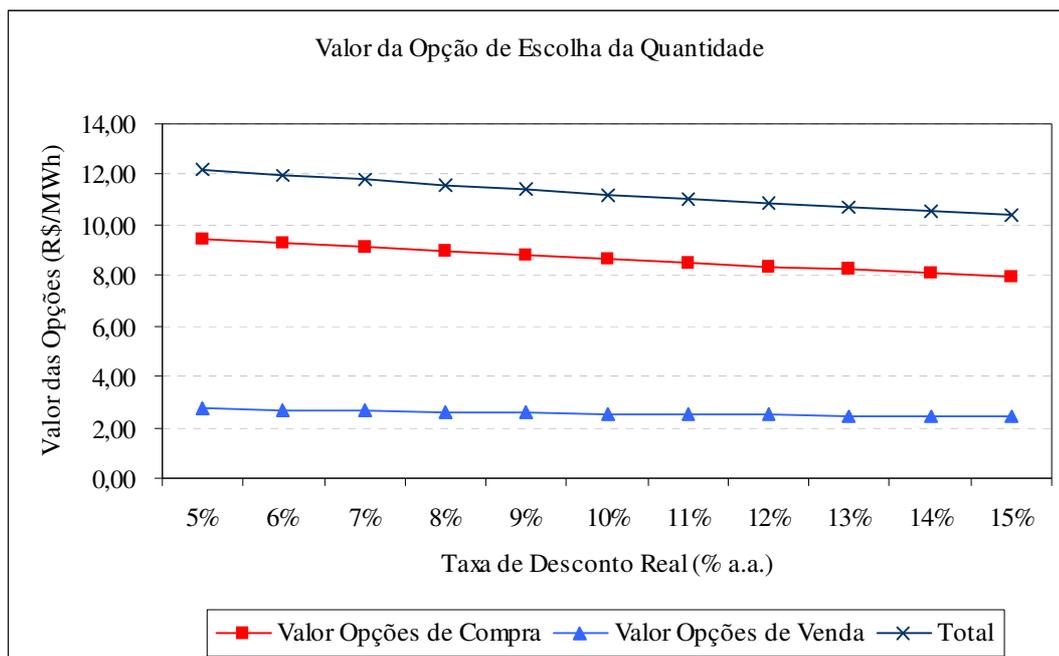


Figura 9 – Valor da Opção de Escolha da Quantidade x Taxa de Desconto Ajustada ao Risco

5.3.2 - Análise de Sensibilidade: Valor da Opção de Redução

Considerando, agora, a opção de redução, observa-se pela Figura 10 que seu valor varia entre em torno de 0,83 a 1,66 R\$/MWh para reduções permitidas de 50 a 100%, ou seja, ficando abaixo de 2% do preço contratado de 90 R\$/MWh para o caso base.

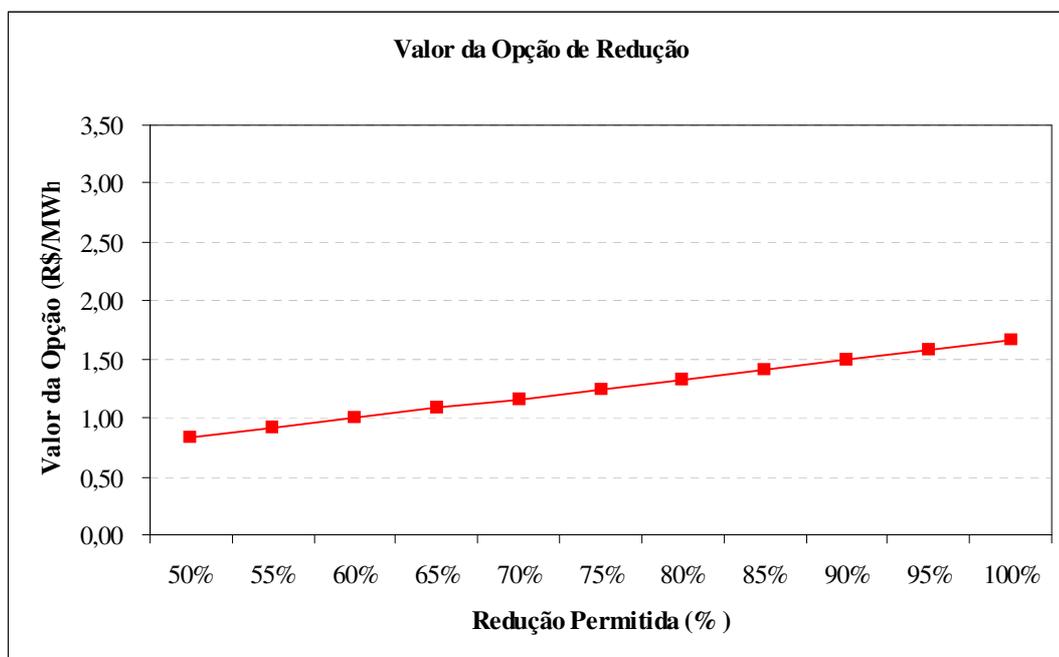


Figura 10 - Valor da Opção de Redução x Tamanho da Redução (%)

VALOR ADICIONADO AOS CONSUMIDORES LIVRES DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL POR CONTRATOS FLEXÍVEIS: UMA ABORDAGEM PELA TEORIA DAS OPÇÕES

Fazendo uma sensibilidade em relação ao preço contratado, a Figura 11 mostra que o valor total da opção varia entre 2,63 e 3,63 R\$/MWh para preços contratados de 80 a 100 R\$/MWh. Como era de se esperar o valor da opção de venda aumenta com o preço de exercício.

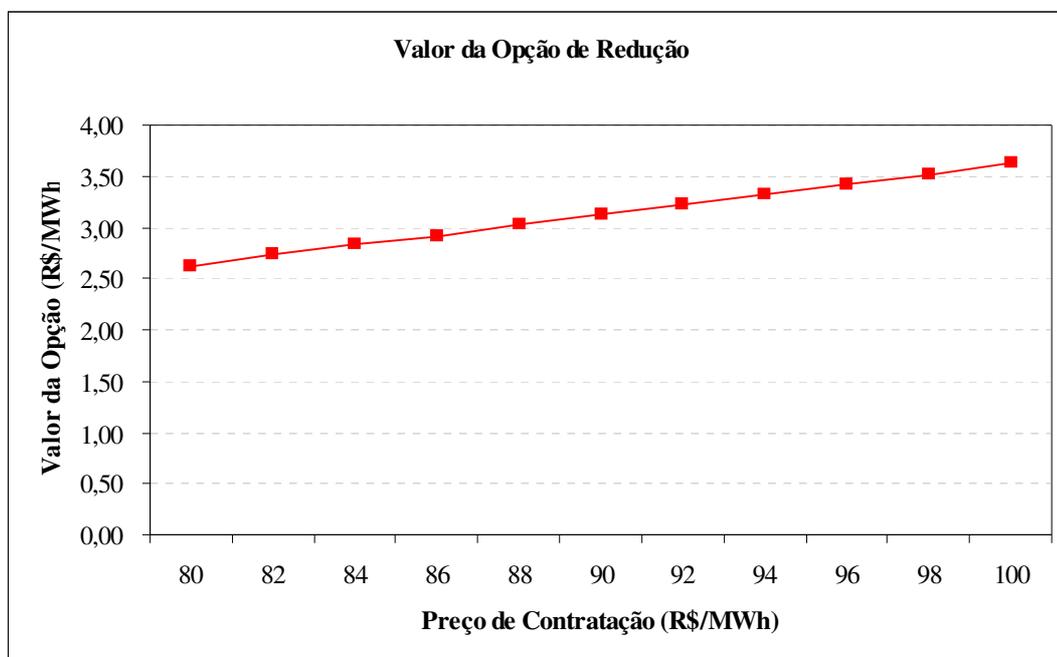


Figura 11 - Valor da Opção de Redução x Preço de Contratação

Em relação à taxa de desconto ajustada ao risco, observa-se pela Figura 12 que o valor total da opção varia entre em torno de 3,26 a 2,84 R\$/MWh para taxas de desconto entre 5 e 15% respectivamente. Portanto, como citado anteriormente, apesar de não se conhecer com precisão a taxa de desconto, sabe-se que o valor da opção de redução varia pouco com as taxas de desconto comparando-se com as sensibilidades em relação às outras variáveis estudadas.

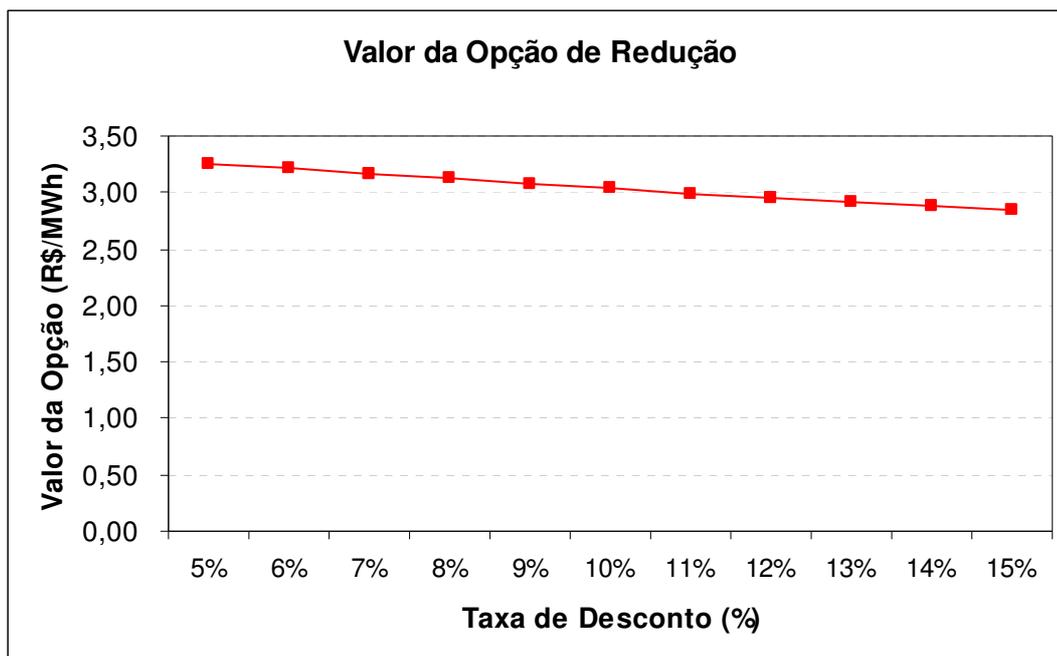


Figura 12 - Valor da Opção de Redução x Taxa de Desconto Ajustada ao Risco

5.3.3 - Análise de Sensibilidade: Valor Conjunto das Opções

O valor conjunto das opções não é simplesmente o resultado da soma dos valores individuais. Isto ocorre porque, considerando ambas as opções no mesmo contrato, há uma superposição de flexibilidades. Nos meses de exercício da opção de redução, como já existe uma flexibilidade de redução por parte da opção de escolha da quantidade, na verdade, o valor agregado pela opção de redução só pode ser associado à possibilidade de redução complementar gerada por esta opção. Por exemplo, seja a flexibilidade de escolha da quantidade de $\pm 10\%$ e a flexibilidade de redução de 50% . Como já existe a possibilidade de redução de 10% na primeira opção, o valor adicionado pela segunda opção se refere à diferença, ou seja, 40% , e não aos 50% descritos no contrato. A Tabela 2 apresenta valores mostrando o efeito da interação entre as opções.

VALOR ADICIONADO AOS CONSUMIDORES LIVRES DE ENERGIA ELÉTRICA NO
BRASIL POR CONTRATOS FLEXÍVEIS: UMA ABORDAGEM PELA TEORIA DAS
OPÇÕES

Tabela 2 – Valor Conjunto x Soma dos Valores Individuais das Opções

Valor Individual da Opção de Escolha da Quantidade						
Flexibilidade	10%		Valor da Opção		11,58	R\$/MWh
Valor Individual da Opção de Redução						
Flexibilidade Redução (%)	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Valor Opção (R\$/MWh)	0,83	1,00	1,16	1,33	1,49	1,66
Soma Valores (R\$/MWh)	12,41	12,58	12,74	12,91	13,07	13,24
Valor Conjunto (R\$/MWh)	11,53	11,70	11,86	12,03	12,19	12,36

Valor Individual da Opção de Escolha da Quantidade						
Flexibilidade	20%		Valor da Opção		23,15	R\$/MWh
Valor Individual da Opção de Redução						
Flexibilidade Redução (%)	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Valor Opção (R\$/MWh)	0,83	1,00	1,16	1,33	1,49	1,66
Soma Valores (R\$/MWh)	23,98	24,15	24,31	24,48	24,64	24,81
Valor Conjunto (R\$/MWh)	22,24	22,41	22,57	22,74	22,90	23,07

Verifica-se que o valor conjunto das opções quando a flexibilidade da opção de escolha da quantidade é de 10% é menor que a soma dos valores individuais das opções em 0,88 R\$/MWh. Para um valor de flexibilidade da opção de escolha da quantidade de 20%, o valor conjunto das opções é 1,74 R\$/MWh menor que a soma dos valores individuais. Observa-se que para os dois níveis de flexibilidade, a interferência de uma opção na outra é de uma redução de valor de aproximadamente 8% obtida pela divisão da redução do valor conjunto (0,88 R\$/MWh - flexibilidade de 10%) pelo valor original da opção de escolha da quantidade (11,58 R\$/MWh - flexibilidade de 10%).

O valor conjunto das opções pode chegar a 23,07 R\$/MWh, o que corresponde aproximadamente a 25% do preço contratado de 90 R\$/MWh.

6 - Considerações Finais

Neste trabalho, a fim de se analisar uma questão prática que surge no mercado livre brasileiro de energia elétrica, integrou-se a teoria de finanças sobre opções com regras e especificidades do SEB. Foram avaliadas flexibilidades embutidas em contratos bilaterais.

Foram abordados dois tipos de flexibilidade embutida em contratos bilaterais. As flexibilidades, aqui chamadas de opção de escolha da quantidade e opção de redução, foram modeladas como opções de compra e de venda.

Os resultados obtidos indicaram que o valor conjunto das opções de escolha da quantidade e de redução pode ultrapassar 20% do valor do contrato. Este resultado pode ser bastante relevante em negociações de energia elétrica no mercado livre brasileiro.

O valor da opção de escolha da quantidade para uma flexibilidade de $\pm 20\%$ chega a valer 23,15 R\$/MWh e corresponde, aproximadamente, a 25% do preço contratado. Considerando a opção de redução, seu valor variou entre 0,83 e 1,66 R\$/MWh para reduções permitidas de 50 a 100%, ou seja, ficou abaixo de 2% do preço contratado de 90 R\$/MWh.

Observou-se pelas análises de sensibilidade que o efeito da taxa de desconto no valor das opções é, consideravelmente, menor que o efeito da variação dos preços de contratação de energia e do tamanho das flexibilidades.

Foi possível verificar, também, que o valor conjunto das opções de escolha da quantidade e de redução é um pouco menor que a soma dos valores individuais das opções. A interferência de uma opção na outra é de uma redução de valor de aproximadamente 8%.

Como sugestão para trabalhos futuros, a pesquisa poderia avançar incluindo-se mais flexibilidades embutidas em contratos. Existem outras flexibilidades que podem ser estudadas, como a de escolha da sazonalização anual do contrato, no qual são permitidas variações mensais desde que a quantidade total anual de energia elétrica seja mantida. Outra flexibilidade é a opção extensão do contrato por um preço pré-definido. Pode-se analisar também a opção de cancelamento do contrato mediante o pagamento de uma multa e a opção de seção do contrato para uma terceira parte.

Adicionalmente, a metodologia desenvolvida neste artigo pode ser adaptada para avaliar flexibilidades operativas de termelétricas e hidrelétricas no contexto do SEB.

Como contribuição deste artigo para os agentes consumidores de energia elétrica, no Brasil, destaca-se que grandes empresas (consumidores livres) podem comprar energia elétrica no mercado livre obtendo descontos em relação às tarifas reguladas aplicadas pelas distribuidoras e poderão obter grande proveito das flexibilidades embutidas nos contratos negociados no mercado livre ao conhecerem seu valor.

Assim, as empresas poderão negociar contratos de forma mais consciente em relação ao valor das flexibilidades, a fim de reduzir seus custos de aquisição de energia, tornando-se mais competitivas nacional e mundialmente (principalmente as empresas eletro-intensivas).

REFERÊNCIAS

- AMRAM M.; KULATILAKA N.: **Real options**: managing strategic investments in an uncertain world. Harvard Business School Press, 1999.
- BLACK, F.; SCHOLES, M. The Valuation of option contracts and a test of market efficiency, **Journal of Finance**, p. 399-418, 1972.
- COOPERS; LYBRAND. **Projeto RE-SEB**: relatório final. Ministério de Minas e Energia Disponível em: <http://www.mme.gov.br> . Acesso em: dez. 1997.
- DENG S.; JOHNSON B.; SOGOMONIAN A: **Exotic electricity options and the valuation of electricity generation and transmission**. In: Proceedings of the Chicago Risk Management Conference, may 1998.
- DIXIT, A. K.; PINDYCK R. S. **Investment under uncertainty**. Princeton: Princeton University Press, 1994.
- ETHIER R. G.: Valuing electricity assets in deregulated markets: a real options model with mean reversion and jumps, **Working Paper**, Department of Agricultural, Resource, and Managerial Economics, Cornell University, February 1999.
- GAUTHIER, L.; ROUZEAU E.: New approaches to corporate forex exposure. **Economic & Financial Computing**, winter 1997.
- GERSZKE, K.; KOPCA U.; TOCHTERMANN T. C. A.: Black-Scholes Meets Seinfeld, **The Mckinsey Quarterly Journal**, n. 2, 2000.
- HULL, J. C. **Options, futures and other derivatives**. 5 ed. New Jersey: Prentice Hall, 2003.
- KULATILAKA N.; BALASUBRAMANIAN P.; STORCK J., **Using real options to frame it investment problem**. Real Options and Business Strategy Applications to Decision-Making, Risk Publications, 1999.
- JOHNSON B.; NAGALI V.; ROMINE B. R.: **Real options theory and the valuation of generating assets**: a discussion for senior managers. The New Power Markets: Corporate Strategies for Risk and Reward, Risk Books, 1999.
- MACEIRA, M. E. P. ; BEZERRA C. V.. **Stochastic stream flow model for hydroelectric systems**. In: Proceedings of PMAPS, 1997.
- _____. et al. Application of the NEWAVE model in the energy evaluation of the Brazilian north/northeast and south/southeast interconnected systems. In: Symposium of Specialists in
- REAd – Edição 63 Vol 15 N° 2 maio-agosto 2009

Electric Operational and Expansion Planning, VI. **Anais...** Salvador, Brazil, May24th to 29th, 1998.

PEREIRA M. V. F.; PINTO L. M. V. G.. Multi-stage stochastic optimization applied to energy planning. **Mathematical Programming**, 52, 1991.

PILIPOVIC, Dragana. **Energy Risk: valuing and managing energy derivatives**. New York: McGraw-Hill, 1997.

SCHWARTZ E. S.; MOON M. Rational pricing of internet companies, **Financial Analysts Journal**, May/June, 2000.

TRIGEORGIS, L. The Nature of option interactions and the valuation of investments with multiple real options. **Journal of Financial and Quantitative Analysis**, 28-1, 1993.

_____. Evaluating leases with complex operating options, **European Journal of Operational Research**, 75-1, 1996.

_____. **Real options, managerial flexibility and strategy in resources allocation**. Cambridge, Massachussets: MIT Press, 1996.

TSENG C.; BARZ G.: **Short-term generation asset valuation**, PSERC, 1997.

WINSEN J. K.: **Real options and the valuation of generation assets: an Australian national electricity market example**. The New Power Markets: Corporate Strategies for Risk and Reward, Risk Books, 1999.