

Desenvolvimento de Metodologia para Avaliação de Riscos na Comercialização de Energia Elétrica

G. A. B. Arfux, UFSC, F. S. V. Silveira, TRACTEBEL, R. C. G. Teive, UNIVALI

Resumo - As estruturas verticalizadas e monopolistas permaneceram como um paradigma aplicado ao setor elétrico por muito tempo. No entanto, nas duas últimas décadas estas estruturas foram substituídas por ambientes de mercado competitivo, com preços sendo estabelecidos livremente entre os agentes. Desta maneira a volatilidade associada aos preços os expõe ao risco de mercado.

O presente trabalho propõe uma metodologia e um modelo computacional para análise destes riscos nas carteiras de contratos de comercialização de energia elétrica, através da Teoria de Portfólios de Markowitz. O modelo é adequado às especificidades do comportamento do preço no sistema elétrico brasileiro, utilizando instrumentos e estratégias aplicadas no mercado financeiro, como os contratos derivativos (*call* e *put*).

Palavras-chave — Gerenciamento de Riscos, Contratos de Opção (*Call* e *Put*), Derivativos, Teoria de Portfólio de Markowitz.

I. INTRODUÇÃO

Nas duas últimas décadas houve uma tendência mundial que modificou a estrutura de funcionamento do setor elétrico em diversos países. O principal objetivo destas reformas foi possibilitar e tornar atrativa a atuação de investidores privados no setor. Estruturas verticalizadas e monopolistas com tarifas reguladas foram substituídas por ambientes de mercado com preços sendo estabelecidos através da relação entre oferta e demanda [1]. Nestes ambientes competitivos, as empresas estão expostas à flutuações do preço conhecidas como risco de mercado.

Analisando especificamente o caso brasileiro, a oferta de energia está fortemente ligada à natureza estocástica das fluências, dado que o país apresenta uma matriz energética predominantemente hidráulica. Como consequência, a formação do preço de curto prazo apresenta uma incerteza significativa que pode comprometer o retorno esperado da carteira de contratos.

Para se proteger do risco econômico caracterizado pela volatilidade dos preços, estabilizar os fluxos de caixa e obter lucro com exposição controlada ao risco de mercado, agentes geradores e comercializadores podem firmar contratos de caráter exclusivamente financeiro.

Estes contratos são conhecidos como derivativos, pois seu valor deriva de algum ativo de referência, (*commodity*, título, taxa referencial etc.), no caso em questão a energia elétrica. Estes contratos foram adaptados para o setor elétrico e em alguns países já representam grande parte dos montantes de energia negociados, como por exemplo, os contratos por diferença no Reino Unido e os contratos de opção nos EUA.

No Brasil não existem ainda mecanismos sofisticados para o gerenciamento de riscos na comercialização de energia como ocorre em países com mercados mais maduros, citados anteriormente. Esta foi a principal motivação para o desenvolvimento deste trabalho.

II. METODOLOGIA DESENVOLVIDA

O objetivo do modelo é apresentar, com base em possíveis cenários de preço (que são obtidos através do histórico de fluências ou de séries sintéticas), a composição ótima do portfólio (contratos) para determinado nível de risco que o agente esteja disposto a aceitar. Neste caso os cenários de preço de curto prazo para o horizonte de tempo de cinco anos foram obtidos com base no histórico de fluências de 1931 até 2001, através do programa NEWAVE (Cepel).

Na metodologia desenvolvida foram utilizados contratos bilaterais e contratos de opção. Portanto, para melhor entendimento do trabalho, é necessária uma breve explanação sobre a teoria de opções, já que os contratos bilaterais são bastante conhecidos pelos agentes do setor.

A. Contratos de Opção

Um contrato de opção pode ser de compra, também conhecido como *call*, ou de venda, também conhecido como *put*. Existem quatro possibilidades de negociação, sendo estas: compra ou venda de *call* e compra ou venda de *put*. O vendedor de um contrato de opção é denominado **lançador** e o comprador é denominado **titular**. Na opção de compra (*call*) o titular tem o direito, mas não a obrigação de comprar um ativo em certa data por determinado preço. De forma análoga, na opção de venda (*put*) o titular tem o direito, mas não a obrigação de vender um ativo em certa data por determinado preço. O privilégio desta escolha é concedido através do pagamento de um **prêmio** antecipado, que deve remunerar a exposição do lançador ao risco de variação no

preço do ativo [2] e [5]. O parâmetro que referencia o exercício deste direito é conhecido como **preço de exercício** P_E .

B. Ambiente de Comercialização

Um agente comercializador (ou gerador) pode compor um portfólio de contratos de compra (lastro de suas operações) e um de contratos venda de energia, de forma que seus lucros sejam maximizados. Estes portfólios podem envolver submercados diferentes.

Qualquer agente que negocie entre submercados poderá estar exposto à diferença dos preços de curto prazo, quando alguma restrição de transmissão entre estes estiver ativa [1]. Esta exposição pode ser positiva ou negativa dependendo da situação, cabe à este quantificar e administrar esta exposição.

A figura 1 descreve de maneira geral o contexto de atuação de um comercializador destacando a construção de um portfólio de compra e outro de venda de energia elétrica. Desta maneira se mostram as oportunidades de negócios que surgem ao agente comercializador, tanto nos contratos de compra, quanto nos de venda.

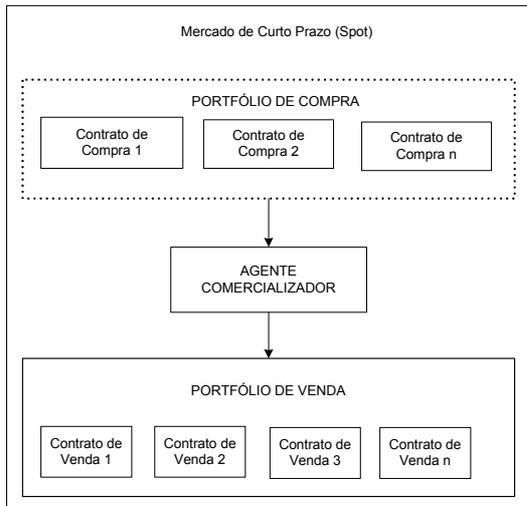


Figura 1. Ambiente de Comercialização

C. Portfólio de Compra

O presente trabalho não considera contratos derivativos no portfólio de compra, no entanto, estes foram modelados de forma flexível para que a volatilidade dos retornos esperados fosse maior e a eficiência da metodologia fosse verificada.

D. Portfólio de Venda

O portfólio de venda foi modelado a partir de quatro possibilidades de negociação sendo: venda direta no mercado de curto prazo, venda bilateral, venda de *call* e compra de *put*.

A metodologia de cálculo do retorno esperado para cada uma das operações será mostrada a seguir.

1) Retorno do Mercado de Curto Prazo (spot)

O retorno de um contrato spot para determinado cenário e determinado mês em análise é calculado da seguinte maneira:

$$r_spot_{i,j} = V_{i,j} \cdot spot_{i,j} \quad (1)$$

Onde:

$r_spot_{i,j}$ retorno spot esperado
 $V_{i,j}$ volume transacionado no mercado de curto prazo
 $spot_{i,j}$ preço spot previsto

2) Retorno Bilateral

O retorno de um contrato bilateral para o mês em análise é determinado da seguinte maneira:

$$r_bil_{i,j} = V_bil_{i,j} \cdot P_bil \quad (2)$$

Onde:

$r_bil_{i,j}$ retorno bilateral esperado
 $V_bil_{i,j}$ volume transacionado bilateralmente
 P_bil preço bilateral

3) Retorno da Venda de Call

O titular do contrato do tipo *call* tem o direito de exercer ou não a sua opção. O retorno do lançador, no caso o comercializador, varia de acordo com o exercício desta. Então:

Se $spot_{i,j} \leq PE$, a *call* não é exercida:

$$ret_call_{i,j} = (v_call \cdot spot_{i,j}) + premio \quad (3)$$

Se $spot_{i,j} > PE$, a *call* é exercida:

$$ret_call_{i,j} = (v_call \cdot PE) + premio \quad (4)$$

Onde:

$ret_call_{i,j}$ retorno esperado da *call*
 v_call volume transacionado da *call*
 PE preço de exercício

4) Retorno da Compra de Put

O titular do contrato do tipo *put* tem o direito de exercer ou não a sua opção. O retorno do titular, no caso o comercializador, varia de acordo com o exercício desta. Então:

Se $spot_{i,j} < PE$, a *put* é exercida:

$$ret_put_{i,j} = (v_put \cdot PE) - premio \quad (5)$$

Se $spot_{i,j} \geq PE$, a *put* não é exercida:

$$ret_put_{i,j} = (v_put \cdot spot_{i,j}) - premio \quad (6)$$

Onde:

$ret_put_{i,j}$ retorno esperado pela *put*

v_put volume transacionado pela *put*

PE preço de exercício

É possível realizar combinações com *call* e *put* formulando estratégias de opções para aproveitar possíveis cenários de preço. Estas estratégias são muito utilizadas por agentes do mercado financeiro. As mais conhecidas são os *spreads* de alta, de baixa e o *spread* borboleta. O uso destas estratégias para o setor elétrico ainda é incipiente.

Também é importante destacar que estes são os casos mais comuns do uso de contratos de opção por comercializadores de energia (venda de *call* e compra de *put*). Tanto na venda de *call* (prêmio positivo) como na compra de *put* (prêmio negativo), o objetivo do agente é criar um mecanismo que possibilite a venda da energia adquirida, mesmo em cenários de preço desfavoráveis. A relação entre o preço de exercício, o prêmio e o preço de curto prazo esperado definem se um contrato de opção é ou não interessante.

Em todos os casos a matriz de retornos obtida terá como dimensões o número de cenários (linhas) pelo número de meses em análise (colunas).

De acordo com estas informações a composição eficiente da carteira é posteriormente formada no módulo de análise de risco.

E. Fluxo de Caixa – A Matriz de Retornos Esperados

Com base nos resultados dos retornos esperados calculados mês a mês para o horizonte de cinco anos, é realizado o fluxo de caixa de cada cenário e para cada tipo de contrato. De forma geral a operação realizada é a seguinte (para cada contrato):

$$retorno_{i,j} = \sum_{i=1}^m \frac{retorno_{i,j}}{(taxa_atualizacao)^i} \quad (7)$$

Onde:

i n° de meses do horizonte de tempo em análise

j n° de cenários

$retorno_{i,j}$ retorno esperado para cada mês

Cada contrato firmado irá ser representado após o fluxo de caixa por um vetor na matriz de retornos. O resultado final desta etapa é uma matriz do tipo:

TABELA I - MATRIZ DE RETORNOS ESPERADOS

	Spot	Bilateral	Call	Put
Cenário 1	ret_spot _{1,1}	ret_bil _{1,2}	ret_call _{1,3}	ret_put _{1,4}
Cenário 2	ret_spot _{2,1}	ret_bil _{2,2}	ret_call _{2,3}	ret_put _{2,4}
...
...
...
Cenário c	ret_spot _{c,1}	ret_bil _{c,2}	ret_call _{c,3}	ret_put _{c,4}

Cada coluna desta matriz apresenta as informações dos retornos esperados para cada cenário de preço de curto prazo, ou seja, dado que ocorra o cenário c de preços, estes são os retornos esperados para cada tipo de contrato. Esta matriz de retornos esperados fornece as informações necessárias para o módulo de análise de risco de Markowitz.

F. Análise de Risco – Teoria de Portfólios de Markowitz

A matriz de retornos esperados é a principal entrada de dados para a análise da Teoria de Portfólios de Markowitz que resolve um problema de minimização quadrática [3] e [4].

Como saída este módulo apresenta graficamente a região viável do portfólio, que contém todas as combinações possíveis de investimento para uma carteira com múltiplos ativos. Neste caso, é feita a combinação das quatro formas de contratação com percentuais variáveis, no entanto para determinado nível de risco existe uma que fornece o maior retorno. Estes pontos são destacados graficamente na fronteira eficiente. A carteira de mínima variância também é determinada e destacada graficamente.

O modelo ainda tem como saída um vetor de risco e um de retorno que descrevem a fronteira eficiente e uma matriz de distribuição dos percentuais que devem ser aplicados em cada tipo de contrato, para que determinado ponto da fronteira eficiente seja alcançado.

TABELA II - SAÍDA DO MODELO DESENVOLVIDO

Risco	Retorno	Composição da Carteira			
X (%)	Y (%)	% Spot	% Bil	% Call	% Put
...
...
Z (%)	W (%)	% Spot	% Bil	% Call	% Put

Este é o objetivo do módulo de análise de risco, determinar a composição da carteira para um determinado nível de risco que o agente esteja disposto a aceitar possibilitando assim um apoio à tomada de decisão.

III. APLICAÇÃO DO MODELO – RESULTADOS OBTIDOS

Alguns parâmetros contratuais devem ser previamente de-

finidos para a realização da simulação, como o montante de energia transacionado, o preço bilateral, o preço de exercício das opções e a taxa de atualização do capital. Para efeito de análise de sensibilidade, alguns destes parâmetros foram alterados no decorrer das simulações. O estudo de caso foi realizado com uma expectativa de preço de curto prazo que apresenta comportamento médio mensal descrito como na figura 2:

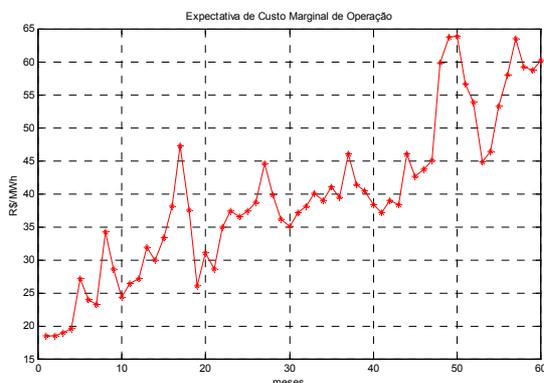


Figura 2. Expectativa de Custo Marginal de Operação (Base Mensal)

Além do ajuste destes parâmetros comentados algumas premissas também foram adotadas.

A. Premissas Assumidas para a Simulação

- A média total da previsão do Custo Marginal de Operação para o horizonte de cinco anos foi de aproximadamente 40 R\$/MWh;
- O portfólio de compra pode ser composto por n contratos, mas nas simulações são considerados casos com dois ou três contratos. Estes podem ser bilaterais ou com cláusulas de flexibilidade;
- O portfólio de venda apresenta algumas possibilidades de contratação. A metodologia determinará de acordo com os parâmetros especificados a composição eficiente da carteira;
- A análise de sensibilidade será realizada por meio da variação do preço bilateral, do preço de exercício das opções no portfólio de venda e da composição do portfólio de compra.

B. Estudo de Caso

No primeiro caso o portfólio de compra é composto por um contrato bilateral de 500MW médios a um preço de 25,00 R\$/MWh e um contrato flexível de 500 MW médios com preço fixo de 20,00 R\$/MWh, acrescido de uma parcela variável de 50% do Custo Marginal de Operação.

As possibilidades de atuação do agente comercializador são de venda à vista, venda bilateral, venda de *call* ou compra de *put*. Os preços especificados são de 40,00 R\$/MWh para contratação bilateral e 40,00 R\$/MWh o preço de exercício das opções (tanto *call* como *put*). A partir desta possibilidade de contratação e do cenário de preços a metodologia proposta irá determinar o montante a ser negociado em

cada modalidade contratual para que se obtenha o maior retorno esperado. A tabela III resume o cenário de contratação para o primeiro caso:

TABELA III – CONFIGURAÇÃO DO PRIMEIRO CASO

Portfólio de Compra	Contrato Bilateral de 500MW médios	25,00 R\$/MWh
	Contrato Flexível de 500MW médios	20,00 R\$/MWh + 50% spot sub-mercado sul
Portfólio de Venda	Preço Bilateral	40,00 R\$/MWh
	Preço de Exercício	40,00 R\$/MWh

Para esta situação foi determinada, por meio do modelo proposto, a fronteira eficiente apresentada na figura a seguir:

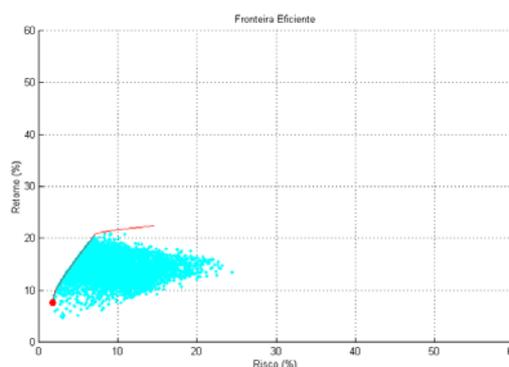


Figura 3. Fronteira Eficiente de Markowitz – Primeiro Caso

A escala do gráfico será mantida fixa para que a variação da região viável e da fronteira eficiente possam ser melhor visualizadas. O ponto destacado na figura 3 corresponde a carteira de mínima variância e apresenta aproximadamente 2% de risco para um retorno esperado de aproximadamente 8%. A composição do portfólio de venda na fronteira eficiente, para cada nível de risco, foi plotada na figura 4 para que sua evolução pudesse ser percebida. Ou seja, este gráfico apresenta a participação percentual de cada ativo na carteira de contratos desde a região de baixos riscos (esquerda do gráfico) até a região de altos riscos (direita do gráfico).

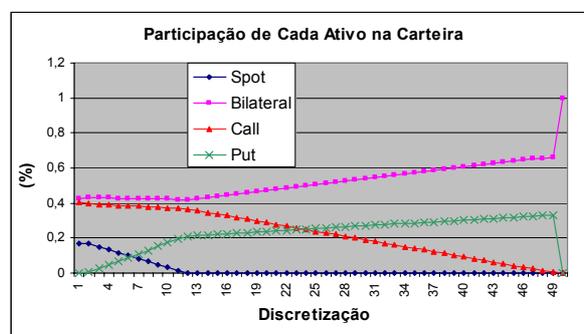


Figura 4. Composição da Fronteira Eficiente

Pode-se destacar na figura 4, que a venda no mercado de curto prazo (spot) foi pouco utilizada. Este resultado é coerente, pois na maioria do tempo o preço de curto prazo é baixo e está sendo confrontado com a venda de um contrato

de opção do tipo *call*. Esta *call* além de ser pouco exercida, em razão de seu preço de exercício ser de 40,00 R\$/MWh, ainda apresenta como incremento de renda o valor referente à seu prêmio já que o comercializador é o seu lançador. O caso extremo de 100% de contratação bilateral apresenta o maior risco de acordo com a Teoria de Portfólios de Markowitz, pois esta defende a prática da diversificação dos investimentos.

Um decisor ao escolher um determinado ponto na fronteira eficiente (risco x retorno) poderia obter a sua composição, como apresentado na tabela IV:

TABELA IV – COMPOSIÇÃO DA CARTEIRA PARA DETERMINADO PONTO DA FRONTEIRA EFICIENTE

Risco	Retorno	Spot	Bilateral	Call	Put
6.9 %	20.2 %	0 %	61 %	2,3 %	36,7 %

A importância do portfólio de compra (lastro) para o fluxo de caixa de um agente comercializador é comprovada na simulação a seguir. Sua composição foi alterada de forma a aumentar a volatilidade do fluxo de caixa de compra e a exposição do agente comercializador ao mercado de curto prazo. Os valores do portfólio de venda foram mantidos.

O novo contrato de compra flexível é composto por uma parcela fixa de 10,00 R\$/MWh e uma parcela variável de 90% do Custo Marginal de Operação do submercado sul.

A configuração deste caso pode ser visualizada na tabela V:

TABELA V - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO PRIMEIRO CASO – VARIACÃO DE PARÂMETROS

Portfólio de Compra	Contrato Bilateral de 500MW médios	25,00 R\$/MWh
	Contrato Flexível de 500MW médios	10,00 R\$/MWh + 90% spot submercado sul
Portfólio de Venda	Preço Bilateral	40,00 R\$/MWh
	Preço de Exercício	40,00 R\$/MWh

Com o aumento da incerteza associada ao portfólio de compra, o efeito da diversificação de Markowitz pode ser percebido na composição da carteira. As duas fronteiras eficientes podem ser comparadas na figura 5:

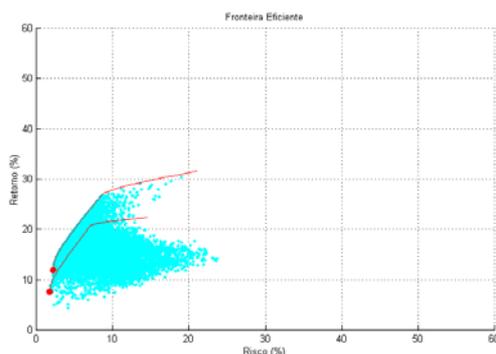


Figura 5. Composição da Fronteira Eficiente – Parâmetros Alterados
A fronteira que está situada na parte superior do gráfico é

resultado da simulação com portfólio de compra com maior incerteza associada. No entanto, como na maioria do tempo os preços de curto prazo se mantiveram baixos, as possibilidades de retorno aumentaram. Conseqüentemente, com a maior exposição em função da parcela de preço variável, o risco também aumentou.

No ponto extremo da fronteira eficiente a alternativa é novamente de 100% de contratação bilateral, comprovando a Teoria de Markowitz que busca a diversificação dos investimentos para mitigação do risco.

Vale destacar que a percepção dos agentes com relação ao risco não foi modelada por nenhum tipo de teoria multicritério ou função utilidade, no entanto, com a obtenção da fronteira eficiente é possível determinar a composição da carteira para cada nível de risco. Então, basta o decisor arbitrar o nível de risco ou retorno que está disposto a aceitar ou obter, e buscar a composição eficiente da carteira.

As possibilidades de análise são diversas, incluindo a criação de cenários otimistas ou pessimistas de acordo com o perfil do decisor.

C. Conclusões

As simulações mostraram que os instrumentos derivativos são eficazes quando utilizados para que os agentes obtenham *hedge* contra volatilidade dos preços. Tanto que, nas regiões em que o risco da carteira de contratos era baixo, sua composição era diversificada e incluía uma significativa participação de contratos de opção. Esta é a principal característica da Teoria de Portfólios de Markowitz, a diversificação traz a mitigação dos riscos. Outro aspecto importante é que risco e retorno são grandezas proporcionais, ou seja, para conseguir retornos maiores é necessário uma exposição maior ao risco de mercado.

Este aspecto ficou evidenciado através das simulações onde a exposição controlada à volatilidade dos preços propiciou lucro ao agente comercializador. Este fato justifica o uso de ferramentas de apoio à tomada de decisão como a da metodologia proposta. Cabe ao decisor adaptar suas operações ao seu perfil de aversão ou propensão ao risco, compondo sua carteira de contratos de maneira eficiente e segura.

IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] EDSON SILVA L.; *Formação de Preços em Mercados de Energia Elétrica*. 1ª Ed. Sagra Luzzatto, Porto Alegre, 2001.
- [2] HULL, John C.; *Opções, Futuros e Outros Derivativos*. 3ª Ed. Bolsa de Mercadorias & Futuros, 1998.
- [3] SILVEIRA, Fabiola S. V.; *Modelo Integrado para Avaliação de Projetos de Investimento no Setor Elétrico*. Florianópolis, SC 2001. Tese de Doutorado – UFSC/PGEEL.
- [4] ARFUX, G. A. B.; *Gerenciamento de Riscos na Comercialização de Energia Elétrica com Uso de Instrumentos Derivativos – Uma Abordagem Via Teoria de Portfólios de Markowitz*. Florianópolis, SC 2004. Dissertação de Mestrado – UFSC/PGEEL
- [5] ARFUX, Gustavo A. B.; SILVEIRA, Fabiola S. V.; TEIVE, Raimundo G.; 2004. *Metodologia para Avaliação de Riscos de Carteiras de Contratos de Comercialização de Energia Elétrica*. Anais do IX SEPOPE – Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning, Rio de Janeiro.