



**XXII SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GCR/09
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO - VI

GRUPO DE ESTUDO DE COMERCIALIZAÇÃO, ECONOMIA E REGULAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - GCR

PLATAFORMA PARA ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE COMERCIALIZAÇÃO DE ATIVOS DA LIGHT

Francisco Ralston Fonseca (*)	Sergio Granville	Carlos Durval Morais	Flavia Daher	Rachel Marcato
PSR	PSR	LIGHT	LIGHT	ENDESA

RESUMO

A comercialização de energia elétrica no mercado brasileiro está sujeita a diversas incertezas, como, por exemplo, a alta volatilidade do Preço de Liquidação de Diferenças (PLD), da energia alocada às usinas, além das cláusulas de flexibilidade dos contratos no ACL. Esses fatores resultam em fluxos de caixa de uma geradora/comercializadora muito voláteis. Este artigo apresenta a descrição de um sistema de apoio à comercialização de energia para a Light Energia S.A., e tem como objetivo o monitoramento e gerenciamento de riscos associados à comercialização de energia.

PALAVRAS-CHAVE

Contratação no ACL, Flexibilidades Contratuais, Comparação de Contratos, Portfólio Ótimo de Contratos, Sazonalização da Energia Assegurada.

1.0 - INTRODUÇÃO

A comercialização de energia elétrica no mercado brasileiro traz diversos desafios aos agentes do mercado. A alta volatilidade do preço de curto prazo, a incerteza no perfil de produção das usinas e as características específicas dos diferentes instrumentos e mecanismos comerciais existentes no mercado expõem os agentes a severos riscos financeiros.

Dentro desta conjuntura, tornam-se necessárias ferramentas de apoio à decisão que facilitem o processo de análise e mitigação destes riscos financeiros.

Este artigo apresenta a descrição de um sistema de apoio à comercialização de energia desenvolvido para a Light Energia S.A., que tem como objetivo o monitoramento, gerenciamento de riscos associados à disponibilização e a comercialização de energia, e otimização de portfólios de contratos em consonância com a Gestão Integrada de Risco do Grupo Light.

A ferramenta computacional é compatível com os arquivos de saída do modelo NEWAVE®.

Este sistema foi desenvolvido dentro do projeto de P&D 5161-0003/2008 sob o título "Plataforma para monitorar e gerenciar os riscos associados à Disponibilização e à Comercialização da geração da Light Energia, em consonância com a Gestão Integrada de Risco do Grupo Light". Este projeto foi concluído em dezembro de 2010 e foi realizado através de uma parceria entre a PSR e a Light Energia S.A., com recursos financeiros oriundos desta última empresa.

2.0 - DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

2.1 Visão Geral do Sistema

A Figura 1 fornece uma visão geral do sistema.

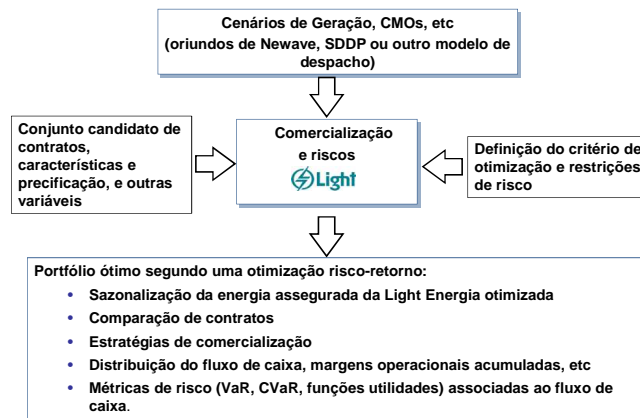


FIGURA 1 – Visão Geral do Sistema

As seguintes funcionalidades são contempladas no sistema:

- Ferramenta de análise de contratos;
- Verificação de lastro do portfólio de ativos de geração e contratos de compra e venda de energia;
- Procedimento de sazonalização da energia assegurada das usinas hidráulicas;
- Cálculo de indicadores de desempenho, de acordo com um critério de risco x retorno, associado a um portfólio de ativos de geração e contratos de compra e venda de energia;
- Sistema de acompanhamento mensal dos índices de risco x retorno;
- Otimizador de portfólio de contratos;
- Flexibilidade na determinação da empresa a ser analisada.

As seções seguintes apresentam em detalhes algumas das funcionalidades listadas acima, finalizando com exemplos ilustrativos de sua utilização.

2.2 Ferramenta de análise de contratos

Uma das dificuldades que os agentes do Setor Elétrico Brasileiro têm de enfrentar é a comparação objetiva entre contratos com diferentes características.

A ferramenta de análise de contratos possibilita a comparação direta entre contratos com diferentes características a partir de um critério de risco x retorno e se identificar os parâmetros mais críticos de um determinado contrato. Para tornar esta comparação possível, foram criados índices (na unidade R\$/MWh) que medem de maneira objetiva a relação de risco x retorno de cada contrato.

Estes índices são calculados de acordo com o seguinte procedimento:

- Para os diferentes cenários de PLDs importados do NEWAVE/SDDP, são calculadas as receitas líquidas anuais (em R\$) de cada contrato considerando seu preço (fixo ou atrelado ao PLD) e supondo que a diferença entre sua energia de referência e energia a ser entregue (baseada no exercício das cláusulas de flexibilidade do consumo) será adquirida/vendida a um preço igual ao PLD adicionado de uma margem (considerado o custo de oportunidade da energia), conforme a equação abaixo;

$$R_i = EC_{con}^i * P_i + (EC_{ref}^i - EC_{con}^i) * (PLD + m) \quad (1)$$

Onde,

- R_i é a Receita do Contrato i ;
- EC_{con}^i é a energia do contrato i efetivamente entregue;
- P_i é o preço do contrato i ;
- EC_{ref}^i é a energia de referência do contrato i ;
- PLD é o preço de liquidação de diferenças ou preço spot;
- m é a margem aplicada sobre o PLD para composição do custo de oportunidade da energia;

- Para cada ano, são calculadas as medidas de risco (Média, VaR, CVaR, Equivalente Certo, etc.. em R\$) relativas às receitas líquidas anuais de cada contrato (calculadas na etapa 1);

3. É calculado o valor presente (em R\$), ao longo da vida útil de cada contrato, de cada uma das medidas de risco calculadas na etapa 2, de acordo com uma taxa de desconto pré-determinada;
4. Cálculo final do valor dos índices de risco x retorno de cada contrato como um valor em R\$/MWh que aplicado à energia anual de referência do contrato resulta em fluxo de receitas cujo valor presente ao longo da vida útil do contrato seja igual ao valor presente calculado na etapa 3.

Após o cálculo das medidas de risco de cada um dos contratos analisados, a ferramenta também permite uma análise de sensibilidade dessas medidas à variação em um dos parâmetros do contrato. Entre estes parâmetros, pode-se listar os percentuais associados às cláusulas de flexibilidade e de take-or-pay dos contratos e os parâmetros associados às cláusulas de margem com relação ao PLD e limites superior e inferior dos preços de energia dos contratos cujos preços são atrelados aos PLDs (do tipo Collar).

Esta análise é feita através da simulação de variações em cima do valor do parâmetro escolhido. Assim, pode-se identificar os parâmetros mais críticos de um determinado contrato, de maneira a auxiliar o agente no processo de negociação dos parâmetros do contrato.

2.3 Cálculo de Indicadores de Desempenho do Portfólio

Esta funcionalidade tem como objetivo calcular índices de desempenho associados às receitas líquidas anuais **totais** do portfólio baseados em um critério de risco x retorno.

A metodologia empregada no cálculo destes indicadores para o portfólio é análoga àquela descrita na subseção que descreve a análise individual dos contratos. No entanto, neste caso, não há uma normalização do fluxo financeiro pela energia do contrato. Dessa maneira, a unidade dos indicadores neste caso não é R\$/MWh, mas sim R\$.

Ao fim do cálculo dos indicadores do portfólio é disponibilizado ao usuário um gráfico mostrando o comportamento de alguns destes indicadores ao longo dos anos da simulação realizada. A Figura 2 ilustra esta funcionalidade.

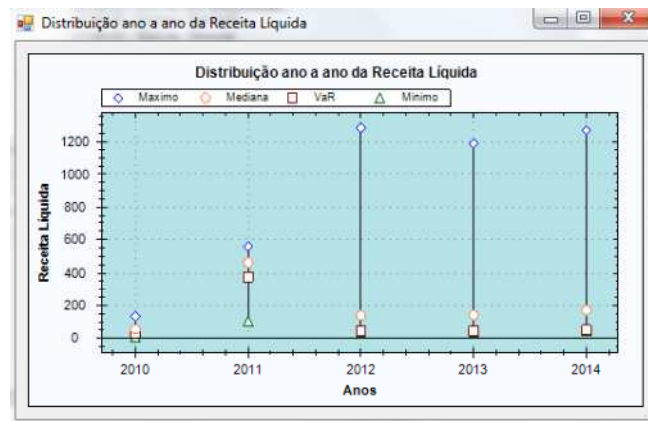


FIGURA 2 – Indicadores do Portfólio

As receitas líquidas do portfólio são constituídas pelo somatório das receitas/despesas de todos os contratos no portfólio, despesas operacionais com usinas e receitas/despesas na CCEE. Uma etapa importante que é executada automaticamente pelo sistema no cômputo das receitas/despesas na CCEE é o cálculo da energia alocada às usinas de acordo com as regras do MRE e valores da energia assegurada sazonalizada.

2.4 Otimização de portfólios

Esta funcionalidade tem como objetivo calcular a composição ótima de um portfólio de contratos a partir de um conjunto de contratos candidatos e critério de risco x retorno baseado no valor presente da combinação do valor esperados com o $CVaR_\alpha$ associados às receitas líquidas do portfólio. O problema de otimização é formulado de acordo com as equações a seguir:

$$\text{Max } \lambda * E[R] + (1 - \lambda) * CVaR_\alpha(R) \quad (2)$$

s.a.

$$M(R) \geq R_{\min}$$

$$\sum_i CV_i \leq \sum_i CC_i + \sum_i GF_i$$

Onde,

λ é um parâmetro entre 0 e 1 para compor a combinação linear entre o valor esperado e o CVaR;
 R é a Receita total do portfólio;
 $M(R)$ é uma medida de risco da Receita do Portfólio;
 CV_i é a energia do contrato candidato de venda i ;
 CC_i é a energia do contrato candidato de compra i ;
 GF_i é a energia da usina i ;

3.0 - CRITÉRIOS DE RISCO X RETORNO

O estudo e a definição de critérios de Risco x Retorno coerentes e de acordo com as especificações da Light foi parte do escopo do projeto de P&D descrito neste artigo.

A existência de diversas medidas diferentes de risco, cada uma com seus defeitos e qualidades específicas, torna aconselhável aos agentes a utilização de mais de uma medida para medir o risco e o retorno em suas análises. Dependendo da situação estudada, uma medida pode ser mais apropriada que outra. Tendo isso em mente, foram implementadas no sistema quatro diferentes medidas de risco. Nos itens a seguir elas serão detalhadas.

3.1 Valor em Risco (Value at Risk - VaR_α)

A primeira medida de risco considerada é o Valor em Risco (Value at Risk - VaR_α). Esta medida é definida da seguinte maneira: seja R uma variável aleatória que representa Receita Líquida do gerador. O VaR_α de R é definido como um valor r^* tal que a probabilidade da Receita Líquida ser maior ou igual a r^* é $\alpha\%$. Ou seja, a Receita Líquida é maior ou igual a r^* com nível de confiança de $\alpha\%$.

Esta medida pode ser definida analiticamente através da expressão em (3):

$$VaR_\alpha(R) = \max\{r^* \in R : P(R \geq r^*) \geq \alpha\} \quad (3)$$

3.2 Valor em Risco Condicionada (Conditional Value at Risk - $CVaR_\alpha$)

Outra medida de risco existente na ferramenta é o Valor em Risco Condicionada (Conditional Value at Risk - $CVaR_\alpha$). Esta medida é definida da seguinte maneira: seja R uma variável aleatória que representa Receita Líquida do gerador. O $CVaR_\alpha$ de R é definido como o valor esperado da renda líquida condicionado a que esta renda seja menor ou igual ao VaR_α . Esta medida pode ser definida analiticamente através da expressão em (4):

$$CVaR_\alpha(R) = E[R | R \leq VaR_\alpha(R)] \quad (4)$$

A Figura 3 ilustra os conceitos do VaR e do CVaR e a relação entre os dois.

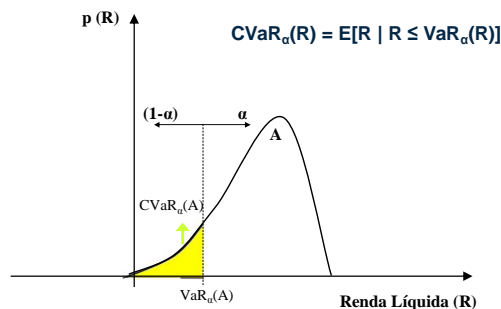


FIGURA 3 – VaR e CVaR

Como mencionado em [5], o $CVaR_\alpha$ possui certos aspectos práticos e teóricos que vem difundindo seu uso em problemas de alocação de portfólio. Entre estes aspectos, pode-se citar: a especificação intuitiva de parâmetros, atender a todas as propriedades de uma medida coerente de risco [6], [7], a captura da aversão a eventos de baixa probabilidade e a possibilidade de representação como um conjunto de restrições lineares em um problema de programação linear [8].

3.3 Ganho em Risco (Earning at Risk – EaR_α)

O Ganho em Risco (ou Earning at Risk - EaR_α) é outra medida de risco modelada no sistema. Seja uma variável aleatória R representando a Receita Líquida do gerador. O EaR_α é definido como a diferença entre a o valor esperado de R e o VaR_α de R . Esta medida pode ser definida analiticamente através da expressão em (5):

$$EaR_{\alpha}(R) = E[R] - VaR_{\alpha}(R) \quad (5)$$

A Figura 4 ilustra graficamente a definição do EaR_{α} .

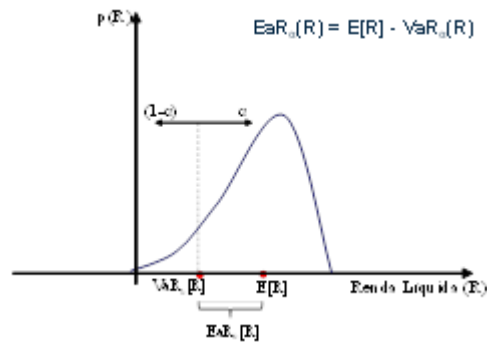


FIGURA 4 – EaR

3.4 Função Utilidade e o Equivalente Certo

Finalmente, uma última medida de risco existente na ferramenta é modelagem do perfil de risco do agente através da Função Utilidade e o cálculo do equivalente certo. O grau de aversão a risco de um agente pode ser quantificado através do conceito de função utilidade que expressa valores monetários em termos de “unidade de utilidade”. A Figura 5 abaixo mostram três tipos de função utilidade, associados a um agente indiferente, averso e agressivo com relação ao risco.

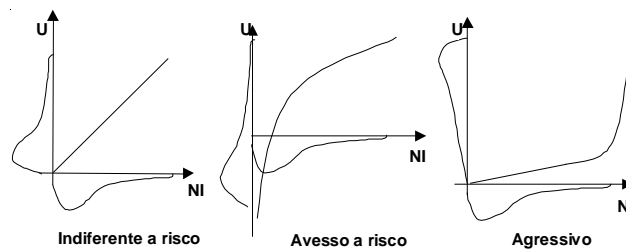


FIGURA 5 – Funções Utilidade

Associada à utilidade tem-se o equivalente a certeza. Seja r a variável aleatória que representa as receitas (em \$); seja $U(r)$ a função de utilidade associada (em unidades de utilidade). A seguir, digamos que EU represente o valor esperado de $U(r)$ sobre todos os possíveis valores de r (em unidades de utilidade). O equivalente a certeza é o inverso de EU , $U^{-1}(EU)$ (em \$). Em outras palavras, o agente seria indiferente (isto é, teria a mesma utilidade) entre receber um pagamento fixo de $\$U^{-1}(EU)$ ou receber as receitas estocásticas (Figura 6 abaixo).

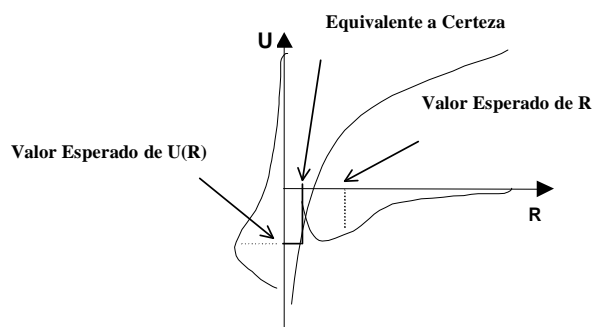


FIGURA 6 – Equivalente Certo

4.0 - EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

Para ilustrar o funcionamento do sistema três classes de exemplos serão descritas nas próximas seções.

4.1 Análise comparativa de diferentes contratos

Para testar a funcionalidade da análise de contratos, foi criado um conjunto de cinco contratos com diferentes características. Foram considerados contratos tanto do tipo Padrão (quando o preço é um valor pré-definido em R\$/MWh) quanto do tipo Collar (quando o preço é definido mês a mês como uma função do PLD). Adicionalmente os contratos foram especificados com diferentes níveis de flexibilidade no consumo.

A Tabela 1 apresenta os detalhes de cada um dos contratos.

Tabela 1 – Detalhes dos contratos analisados

Nome	Tipo	Flexibilidade	Preço (R\$/MWh)	Teto (R\$/MWh)	Piso (R\$/MWh)
Base	Padrão	0%	150	N/A	N/A
Contrato 1	Padrão	+/- 10%	165	N/A	N/A
Contrato 2	Padrão	+/- 20%	180	N/A	N/A
Contrato 3	Collar	0%	PLD +15%	170	130
Contrato 4	Collar	0%	PLD + 30%	190	110

Esse conjunto de contratos foi cadastrado no sistema e, em seguida, a ferramenta de análise de contratos foi executada para calcular as métricas de risco de cada um desses contratos. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos pela ferramenta (o cálculo do equivalente certo foi realizado utilizando uma função utilidade linear, i.e., representando um agente indiferente ao risco).

Tabela 2 – Resultados obtidos

Nome	Val. Esp. (R\$/MWh)	CVaR (R\$/MWh)	VaR (R\$/MWh)	Eq. Certo (R\$/MWh)	EaR (R\$/MWh)
Base	150	150	150	150	0
Contrato 1	152.7	122.4	131.5	152.7	21.2
Contrato 2	153.9	97.6	115.9	153.9	38
Contrato 3	142.2	130	130	142.2	12.2
Contrato 4	138.2	110	110	138.2	28.2

Os resultados obtidos pela ferramenta foram então exportados para uma planilha em Excel® e o gráfico apresentado na Figura 7 foi construído. Ele exibe uma distribuição do perfil de Risco x Retorno desses contratos. A medida de risco utilizada nesse gráfico foi o EaR.

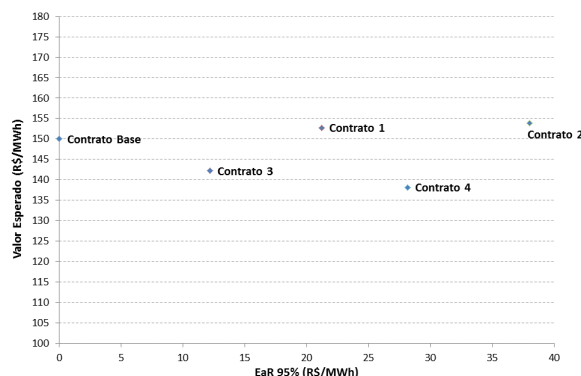


FIGURA 7 – Indicadores do Portfólio

Pelo gráfico acima pode-se perceber a diferença entre os perfis de risco x retorno dos diferentes contratos. Enquanto o Contrato Base possui risco nulo (pois não possui cláusulas de flexibilidade e tem preço fixo), os contratos 1 e 2 possuem risco alto e um Valor Esperado maior do que o Contrato Base. Já os contratos 3 e 4 possuem Valor Esperado abaixo do Contrato Base, mas seu risco não é tão alto.

Em seguida, realizou-se um estudo de sensibilidade de Contrato 3. Escolheu-se variar o valor do parâmetro Piso deste contrato para observar como isto irá afetar seu perfil de Risco x Retorno. Os indicadores do Contrato 3 foram simulados para valores do parâmetro Piso entre 130 R\$/MWh e 170 R\$/MWh. Com isso buscou-se o valor do parâmetro Piso que resultaria em um perfil Risco x Retorno desejado para este contrato. Os resultados obtidos pela ferramenta foram então exportados para uma planilha em Excel® e o gráfico apresentado na Figura 8 foi construído.

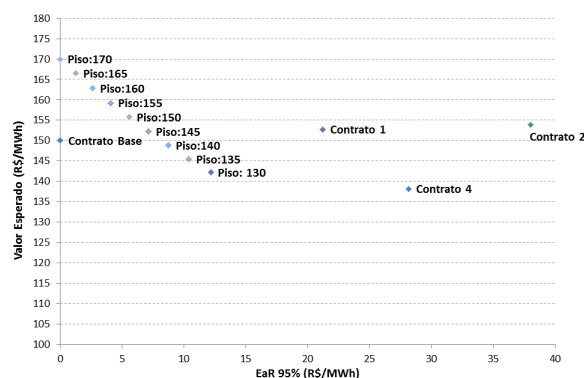


FIGURA 8 – Indicadores do Portfólio

Pode-se observar no gráfico acima como o perfil de risco x retorno do Contrato 3 melhora com o aumento do valor do piso. Com o piso tendo um valor igual a 145 R\$/MWh, o Valor Esperado do Contrato 3 é maior do que o Contrato Base enquanto o valor do EaR é aproximadamente 7 R\$/MWh. Adicionalmente, pode-se concluir pelo gráfico que um aumento de 5 R\$/MWh no parâmetro piso resulta em um aumento médio de 3,5 R\$/MWh no valor esperado e uma diminuição de 1,5 R\$/MWh na medida de risco EaR.

4.2 Otimização de Portfólios de Contrato

Neste exemplo, pretende-se encontrar qual a composição ótima de contratos de venda de energia do portfólio de uma comercializadora (p.ex., a Light Esco). Foi considerado o mesmo conjunto de potenciais contratos de venda de energia utilizado no exemplo anterior (ver Tabela 1) e que cada um desses contratos pode ter um tamanho máximo de 100 MWmed. Adicionalmente, foi considerado que a comercializadora possui contratos de compra de energia somando um total de 300 MWmed.

Dessa maneira, devido a restrição regulatória que limita o montante máximo de contratos de venda ao montante de contratos de compra (de acordo com ambas as médias móveis), o montante de contratos de venda deve ser menor ou igual a 300 MWmed.

Inicialmente, a otimização de portfólio foi realizada de maneira a maximizar o Valor Esperado da Receita do Portfólio. Segundo este critério, a composição ótima do portfólio é aquela apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – . Composição ótima do portfólio (Maximização do Valor Esperado)

Nome	Montante (MWmed)
Base	100
Contrato 1	100
Contrato 2	75
Contrato 3	0
Contrato 4	0

Observa-se como a ferramenta escolheu aqueles contratos que possuem o maior Valor Esperado individual na análise do exemplo anterior. Apesar de observar-se na Figura 7 que o Contrato 2 possui um Valor Esperado mais alto do que o Contrato 1, a ferramenta escolheu contratar uma maior quantidade do Contrato 1 devido a restrição de lastro. Como o Contrato 2 possui uma flexibilidade de + ou - 20%, isto significa que o cliente pode consumir até 20% além do montante do contrato. Dessa maneira, o programa, de maneira conservadora, tem como convenção considerar para fins da restrição de lastro o montante máximo que o consumidor tem direito. Assim é mais vantajoso contratar uma maior quantidade do Contrato 1 (que pesa menos na restrição de lastro) do que do Contrato 2.

Em seguida, a ferramenta foi executada com o objetivo de maximizar o CVaR do portfólio (i.e., de minimizar o risco financeiro do portfólio). Segundo este critério, a composição ótima do portfólio é aquela apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 – Composição ótima do portfólio (Maximização do CVaR)

Nome	Montante (MWmed)
Base	100
Contrato 1	100
Contrato 2	0

Contrato 3	90
Contrato 4	0

Observa-se como a decisão foi agora um pouco diferente em relação ao caso de maximização do Valor Esperado. Neste caso, o programa trocou o Contrato 2 pelo Contrato 3. Isto ocorreu porque, como pode-se observar na Figura 7, o Contrato 3 possui um risco menor do que o Contrato 2. Além disso, conseguiu contratar um montante maior (290 MWmed), já que o contrato 3 não possui cláusulas de flexibilidade (como é o caso do contrato 2).

5.0 - CONCLUSÕES

Neste artigo foi apresentado um sistema de apoio às decisões de comercialização para a Light que reúne, em um mesmo ambiente, aspectos como o monitoramento, gerenciamento de riscos associados à disponibilização e a comercialização de energia, e otimização de portfólios de contratos em consonância com a Gestão Integrada de Risco do Grupo Light. Vários exemplos foram apresentados para ilustrar a flexibilidade no seu uso e mostrar sua grande utilidade como ferramenta de apoio às decisões de comercialização de energia.

6.0 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Mario V. F. Pereira, Luiz A. Barroso, José Rosenblatt, Juliana P. Lima e Priscila R. Lino da PSR, por valiosas contribuições no desenvolvimento do sistema.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Decreto no 5163 de 30 de Junho de 2004. Casa Civil - Presidência da República.
- (2) Documento PdC CO.07 - CCEE – Regras de Comercialização - 2010
- (3) J. Jorion, Value at Risk: The New Benchmark for Controlling Market Risk. The McGraw-Hill Companies, Inc. 1997.
- (4) R.T. Rockafellar and S. Uryasev. "Conditional value-at-risk for general loss distributions". Journal of Banking and Finance, 26:1443-1471, 2002.
- (5) A. Street, L. A. Barroso, B. Flach, M. V. Pereira, and S. Granville, "Risk Constrained Portfolio Selection of Renewable Sources in Hydrothermal Electricity Markets", IEEE Trans. Power Systems, vol. 24, no. 3, pp. 1136-1144, Aug. 2009
- (6) C. Acerbi, "Coherent measures of risk in everyday market practice," Quant. Fin., vol. 7, no. 4, pp. 359–364, Aug. 2007.
- (7) P. Artzner, F. Delbaen, J.-M. Eber, and D. Heath, "Coherent measures of risk," Math. Fin., vol. 9, no. 3, pp. 203–228, 1999.
- (8) R. T. Rockafellar and S. P. Uryasev, "Optimization of conditional value-at-risk," J. Risk, pp. 21–41, 2000.
- (9) J. Neumann, O. Morgenstern, Theory of Games and Economic Behavior. Princeton University Press. 1944.

8.0 - DADOS BIBLIOGRÁFICOS

Francisco Ralston Fonseca possui mestrado em Engenharia Elétrica (PUC-Rio) e é gerente de projetos na PSR.

Sergio Granville possui PhD em Pesquisa Operacional (Stanford) e é diretor da PSR.

Carlos Durval Moraes possui MBA em Gestão de Negócios (IBMEC) e é gerente de Compra de Energia na Light.

Flavia Daher possui mestrado em Planejamento Energético (UFRJ) e é analista na área de comercialização de Energia na Light.

Rachel Marcato possui mestrado em Matemática (IMPA) e trabalha na ENDESA.