

Plataforma de Apoio a Comercialização de Energia para a Light

C. D. Morais⁽¹⁾, LIGHT, F. R. Fonseca⁽²⁾, PSR, S. Granville⁽³⁾, PSR, F. Daher⁽⁴⁾, LIGHT, R. M. Marcato⁽⁵⁾, LIGHT e F. R. H. Silva⁽⁶⁾, PSR

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, etc. Por outro lado os contratos no ACL têm normalmente uma série de cláusulas tanto associadas ao preço (contratos cujos preços são atrelados ao PLD - do tipo *Collar*) quanto na quantidade de energia a ser entregue (cláusulas de flexibilidades e *Take-or-Pay*, por exemplo). Estas cláusulas, em combinação com a volatilidade dos PLDs e da energia alocada às usinas fazem com que os fluxos de caixa de uma geradora/comercializadora neste ambiente seja ainda mais volátil. Este artigo apresenta a descrição de um sistema de apoio à comercialização de energia para três empresas do Grupo Light (Light Energia, Light Esco e Light Com), que tem como objetivo o monitoramento e 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

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

I. INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta a descrição de um sistema de apoio à comercialização de energia para a Light, 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 Figura 1 fornece uma visão geral do sistema e as seções seguintes apresentam seus vários aspectos, finalizando com exemplos ilustrativos de sua utilização.

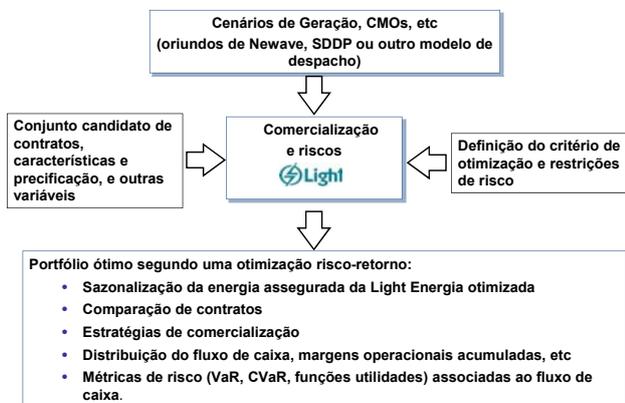


Figura 1 - Visão Geral do Sistema

II. FUNCIONALIDADES

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

A. Ferramenta de análise de contratos

Através da ferramenta de análise de contratos pode-se comparar contratos com diferentes características a partir de um critério de risco x retorno e se identificar os parâmetros mais críticos de um determinado contrato.

A comparação de contratos é baseada em um índice de risco x retorno calculado de acordo com o seguinte procedimento:

- Cálculo das receitas líquidas anuais do 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 take-or-pay) será adquirida/vendida a um preço de PLD mais margem.
- Para cada ano cálculo de um índice de risco x retorno associado às receitas líquidas anuais, calculadas na etapa 1, e seu valor presente, ao longo da vida útil do contrato, de acordo com uma taxa de desconto
- Cálculo do índice de risco x retorno do contrato como sendo o real por MWh que aplicado a energia anual de referência do contrato faz com que o valor presente destas grandezas ao longo da vida útil do contrato seja igual ao valor presente calculado na etapa 2.

A identificação dos parâmetros mais críticos de um determinado contrato é baseada em cálculos de sensibilidades do índice de risco x retorno com respeito aos percentuais associados às cláusulas de flexibilidade e de take-or-pay dos contratos e 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*).

Emails:

- (¹) carlos.moraes@light.com.br; (²) francisco@psr-inc.com;
 (³) granville@psr-inc.com; (⁴) flavia.daher@lightesco.com.br;
 (⁵) rachel.marcato@light.com.br; (⁶) fabricao@psr-inc.com

B. Verificação de lastro do Portfólio

Coerentemente com as regras de comercialização [1], na verificação de lastro do portfólio é calculada mensalmente a média móvel da energia líquida do portfólio, baseada na energia mensal assegurada sazonalizada das usinas e energia mensal dos contratos (positiva para os de compra e negativa para os de venda), considerando o mês corrente e os onze meses anteriores. A Figura 2 ilustra esta funcionalidade.

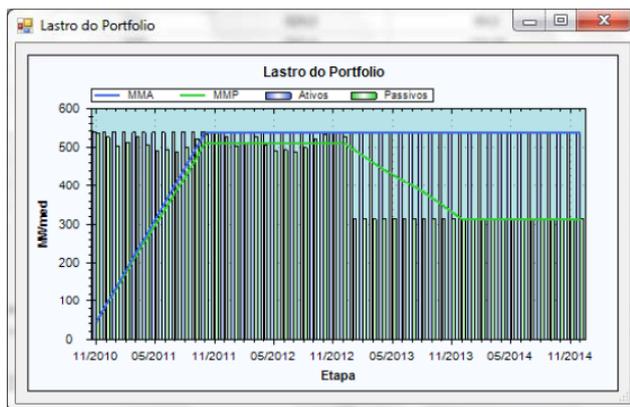


Figura 2 – Verificação de Lastro do Portfólio

C. Sazonalização da energia assegurada das usinas

Uma decisão estratégica importante na maximização de suas receitas e controle de riscos na CCEE de uma geradora de base hidráulica pertencente ao MRE é a sazonalização da sua energia assegurada. Este procedimento consiste na distribuição da energia assegurada anual de suas usinas hidráulicas ao longo dos meses do ano seguinte (ver Figura 3) e ele é importante porque, segundo as regras do MRE, a energia alocada a cada mês para as usinas hidráulicas da geradora é basicamente igual ao rateio da geração hidráulica do sistema, de acordo com a fração da energia assegurada mensal de suas usinas com relação à energia assegurada mensal de todas as usinas hidráulicas do sistema [2].

Através desta ferramenta o usuário pode especificar manualmente a sazonalização da energia assegurada das usinas hidráulicas do portfólio ou otimizar esta sazonalização de acordo com um enfoque de risco x retorno baseado na combinação do valor esperado com o $CVaR_{\alpha}$ ¹ associados as receitas líquidas do portfólio.

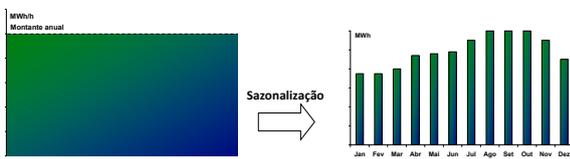


Figura 3 – Sazonalização da Energia Assegurada

D. Cálculo de Indicadores de Desempenho do Portfólio

Esta funcionalidade tem como objetivo calcular índices de desempenho associados às receitas líquidas anuais do portfólio baseados em um critério de risco x retorno. A Figura 4 ilustra esta funcionalidade. As receitas líquidas do portfólio são constituídas por receitas/despesas com contratos, despesas 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 (ver Subseção C).



Figura 4 – Indicadores do Portfólio

E. Acompanhamento Mensal de Indicadores

Dado que a composição do portfólio assim como os cenários dos PLDs futuros podem variar ao longo dos meses, através dessa funcionalidade o sistema armazena os índices de risco x retorno (Ganho em Risco x Valor Médio²) mensais do portfólio, associados às receitas líquidas do ano corrente, permitindo assim a visualização de sua trajetória ao longo dos meses. Na composição dos cenários de receitas líquidas anuais do portfólio no ano corrente, em um determinado mês, serão considerados os valores realizados desde o início do ano até o referido mês e cenários futuros das grandezas relevantes (PLDs, energia alocada às usinas, energia e preços de contratos, etc.) a partir do mês seguinte até o final do ano. A Figura 5 ilustra esta funcionalidade.



Figura 5 – Acompanhamento Mensal dos Indicadores

F. 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 esperado com o $CVaR_{\alpha}$ ³ associados as receitas líquidas do portfólio.

¹ Ver Seção III

² Ver Seção III

³ Ver Seção III

G. Determinação da Empresa a ser Analisada

Cada contrato, existente ou candidato, cadastrado no sistema está associado a uma empresa *Parte* e *Contraparte*. A empresa *Parte* pode ser especificada como Light Energia, Light Esco e Light Com. Com relação à empresa *Contraparte*, podemos ter – Light Energia, Light Esco, Light Com e “Outros”. As usinas, por outro lado, estão associadas a Light Energia ou “Outros”.

Uma das funcionalidades do sistema é permitir ao usuário especificar a empresa a ser analisada que pode ser cada uma das três isoladamente, todas as combinações 2x2 das empresas ou as três empresas em conjunto.

Quando uma empresa isolada é especificada o sistema automaticamente só considera os contratos que têm aquela empresa como *Parte*. Quando um conjunto de duas ou mais empresas é especificado o sistema automaticamente só considera os contratos que têm como *Parte* empresas do conjunto e como *Contraparte* empresas fora conjunto ou “Outros”. Neste caso os contratos cruzados entre as empresas do conjunto são eliminados. As usinas, por outro lado, somente são consideradas se a empresa Light Energia for selecionada.

III. CRITÉRIOS DE RISCO X RETORNO

Quatro indicadores de risco são considerados no sistema: Valor em Risco (VaR_α) – valor R para o qual o nível de renda líquida é maior ou igual a R com nível de confiança de $\alpha\%$ [3]; Valor em Risco Condicionada ($CVaR_\alpha$) – valor esperado da renda líquida condicionado a que esta renda seja menor ou igual ao (VaR_α) [4]; Ganho em Risco (EaR_α) – diferença entre o valor esperado da renda líquida e seu (VaR_α); Função Utilidade. As figuras 6 e 7 ilustram os três primeiros conceitos.

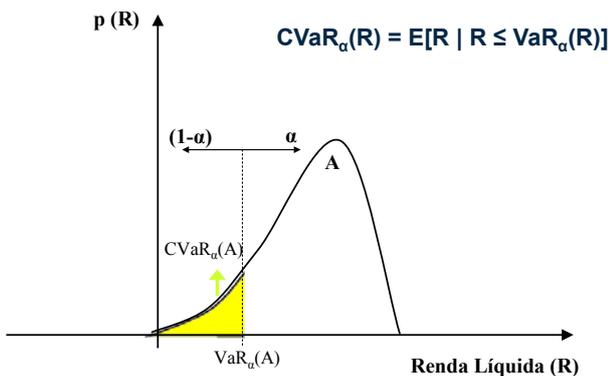


Figura 6 – VaR e CVaR

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 8 abaixo mostram três tipos de função utilidade, associados a um agente indiferente, averso e agressivo com relação ao risco [5].

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 9 abaixo).

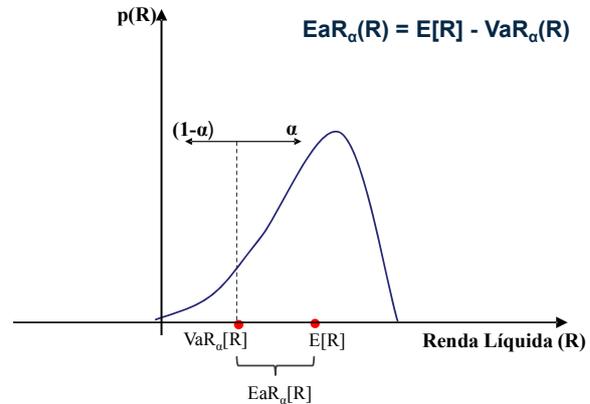


Figura 7 – EaR

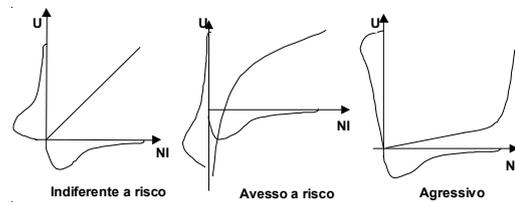


Figura 8 – Funções Utilidade

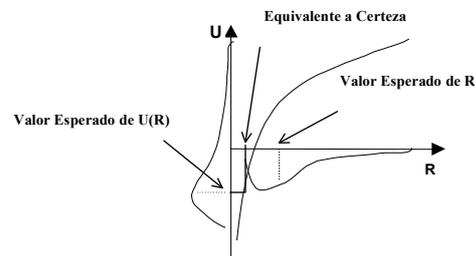


Figura 9 – Equivalente Certo

IV. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

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

A. Estratégias de Sazonalização da Energia Assegurada

Foi considerado inicialmente um parque de geração hidráulico com 537 MWmed de energia assegurada na região sudeste e montante contratado de 510 MWmed distribuídos no ano de acordo com a Figura 10. Foi então calculado a sazonalização da energia assegurada que minimiza a exposição da empresa na CCEE (medida pelo $CVaR_{95\%}$) sujeita a condição que a energia alocada mensal seja maior ou igual a energia de contrato.

O resultado da otimização é ilustrado na Figura 11 que mostra também a sazonalização da energia assegurada de seguindo o mesmo perfil da energia dos contratos (denominada Sazonalização Padrão). Observe que com a otimização, há uma maior concentração da energia assegurada nos me-

ses de maio e agosto que estão no período seco.

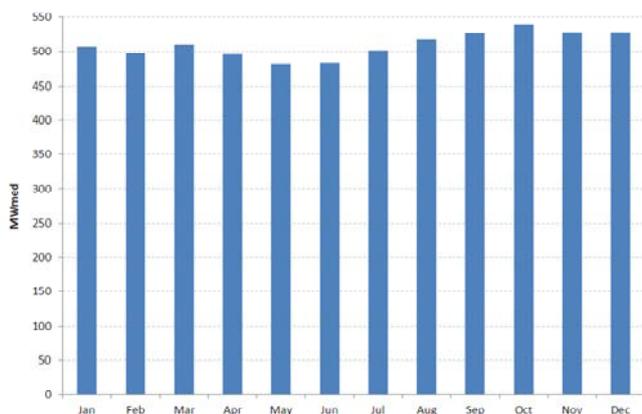


Figura 10 – Energia dos Contratos

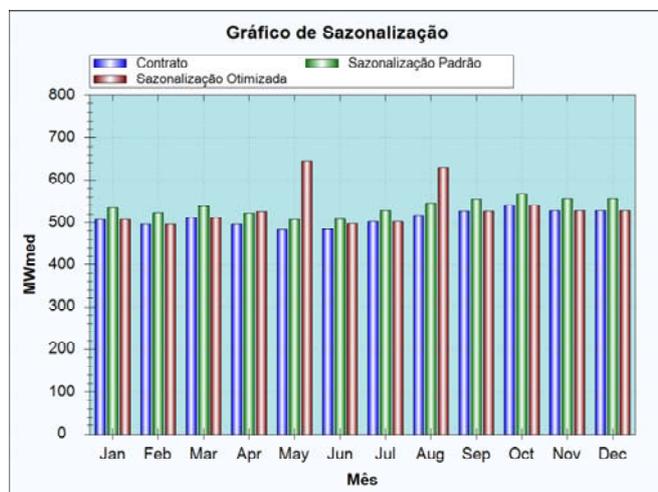


Figura 11 – Energia Sazonalizada

A Tabela I apresenta os resultados da sazonalização otimizada e da sazonalização que segue o perfil dos contratos (“padrão”) nesse caso inicial. Os resultados são apresentados em MMR\$ e também variação percentual entre o caso otimizado e o caso padrão.

TABELA I
RESULTADOS DA SAZONALIZAÇÃO OTIMIZADA E DA SAZONALIZAÇÃO PADRÃO

Sazonalização	E[Rccee] (MM R\$)	Variação %	CVaR _{95%} [Rccee] (MM R\$)	Variação %
Padrão	27,79	-	-193,67	-
Otimizada	27,59	-0,7%	-183,33	5,3%

Pode-se reparar que a sazonalização otimizada reduziu a exposição na CCEE (CVaR_{95%}) em aproximadamente R\$ 10 MM em relação ao caso Padrão (uma melhora de 5,3%) ao mesmo tempo em que reduziu o valor esperado desta mesma variável em apenas R\$ 200 mil (uma diminuição de 0,7%).

Esses resultados são apresentados na interface na seção de resultados da ferramenta de sazonalização da Garantia Física.

Em seguida foi realizado o mesmo exercício, mas agora

incluindo um contrato de compra de energia de uma Usina Biomassa, que gera energia (100 MWmed) apenas nos meses de safra de cana de açúcar (tipicamente de Maio a Novembro). Essa energia da Biomassa é então vendida no mercado através de um contrato uniforme (mesmo montante de energia médio em todos os meses) de montante igual à geração de energia média anual da Biomassa (aproximadamente $100 * 7 / 12 = 58,3$ MWmed).

A ideia é estudar como a inclusão da usina de Biomassa no portfólio hidráulico altera a decisão ótima de sazonalização das Usinas Hidrelétricas.

A Figura 12 apresenta o resultado da sazonalização da Garantia Física quando é considerado no portfólio o contrato de compra e venda da energia da Usina Biomassa.

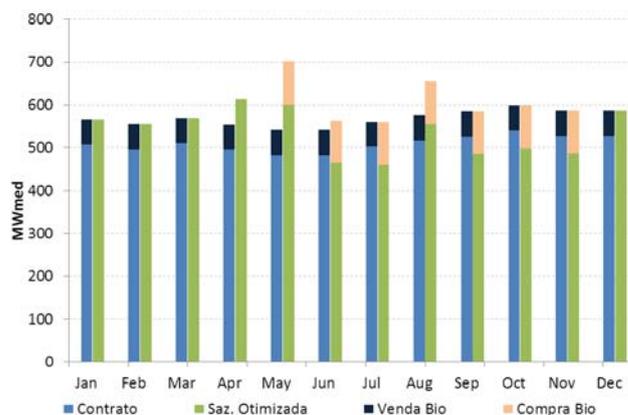


Figura 12 – Energia Sazonalizada

Comparando o resultado da Figura 11 com a Figura 12 pode-se perceber que parte da energia alocada entre Maio e Novembro no primeiro caso, foi alocada nos outros meses no segundo caso. Isso ocorreu porque como a Usina Biomassa entrega uma geração de energia firme nos meses de safra, isso permite que as Usinas Hidrelétricas aloquem mais energia nos meses fora de safra.

A Tabela II apresenta os resultados da sazonalização otimizada no caso que inclui a Usina Biomassa no portfólio.

TABELA II
RESULTADOS DA SAZONALIZAÇÃO OTIMIZADA NO PORTFOLIO HIDRO + BIOMASSA

Sazonalização	E[Rccee] (MM R\$)	CVaR _{95%} [Rccee] (MM R\$)
Otimizada Bio	30,57	-166,51

A Tabela III apresenta uma comparação entre os três casos (Padrão, Otimizada e Otimizada Bio). Como o caso com Biomassa possui um montante de energia maior disponível para venda, para ser possível comparar os três casos os resultados são financeiros foram divididos pelo montante de Energia do Portfólio, sendo, assim, apresentados na unidade normalizada kR\$/MWmed. A partir desses valores é apresentada a variação percentual entre os casos Otimizados (Sem e com Biomassa) em relação ao caso Padrão.

TABELA III
RESULTADOS DA SAZONALIZAÇÃO OTIMIZADA E DA SAZONALIZAÇÃO
PADRÃO (COM E SEM BIOMASSA)

Sazonali-zação	E[Rccee] (kR\$/MWmed)	Variação %	CVaR _{95%} [Rccee] (kR\$/MWmed)	Variação %
Padrão	51,75	-	-360,65	-
Otimizada	51,34	-0,7%	-341,40	5,3%
Otim. Bio	51,34	-0,7%	-279,85	22,4%

Pode-se observar que ao colocar a Biomassa no portfólio e realizar a sazonalização levando isso em consideração, a exposição normalizada na CCEE diminuiu 22,4% em relação ao caso Padrão (sem Biomassa e com sazonalização acompanhando o perfil dos contratos de venda de energia). Já a Receita Esperada normalizada diminuiu apenas 0,7%.

B. Análise comparativa de diferentes contratos

Foi considerado um conjunto de cinco contratos com diferentes características.

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

TABELA IV
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 V apresenta os resultados obtidos pela ferramenta. Eles podem ser visualizados na interface na seção de resultados da ferramenta de Análise de Contratos.

TABELA V
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
Contra-	142.2	130	130	142.2	12.2

to 3					
Contra- to 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 13 foi construído. Ele exibe uma distribuição do perfil de Risco x Retorno desses contratos. A medida de risco utilizada nesse gráfico foi o EaR.

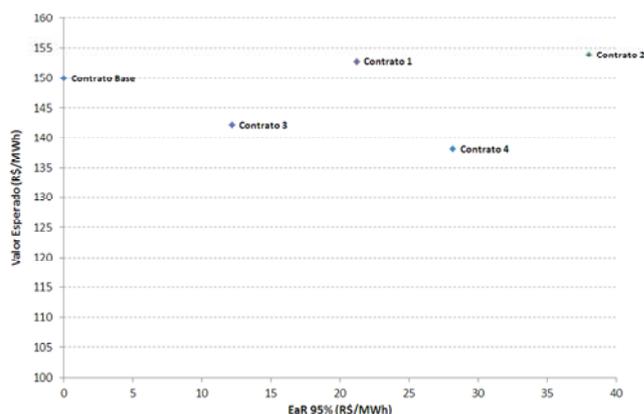


Figura 13 – Gráfico de Risco x Retorno

Pelo gráfico acima pode-se perceber bem 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.

Utilizando a ferramenta da plataforma específica para este objetivo, chegou-se aos resultados apresentados na Tabela VI.

TABELA VI
RESULTADOS OBTIDOS PARA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO CONTRATO 3
AO PARÂMETRO PISO

Valor Piso (R\$/MWh)	Val. Esp. (R\$/MWh)	CVaR (R\$/MWh)	VaR (R\$/MWh)	Eq. Certo (R\$/MWh)	EaR (R\$/MWh)
130	142.2	130.0	130.0	142.2	12.2
135	145.4	135.0	135.0	145.5	10.4
140	148.8	140.1	140.1	148.8	8.7
145	152.2	145.1	145.1	152.2	7.1
150	155.7	150.2	150.2	155.7	5.6
155	159.3	155.2	155.2	159.2	4.1
160	162.8	160.2	160.2	162.8	2.6
165	166.5	165.3	165.3	166.5	1.3
170	170.0	170.0	170.0	170.0	0

Os resultados obtidos pela ferramenta foram então exportados para uma planilha em Excel® e o gráfico apresentado na Figura 14 foi construído.

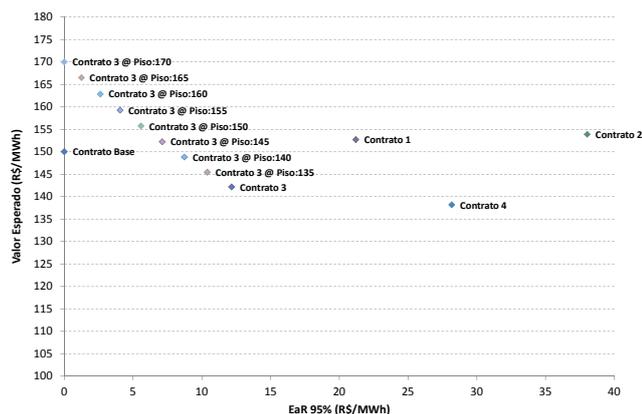


Figura 14 – Gráfico de Sensibilidade Risco x Retorno

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.

C. 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 (detalhes especificados na Tabela IV) 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 VII.

TABELA VII

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 B. Apesar de observar-se na Figura 13 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, considera 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 VIII.

TABELA VIII

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 13, o Contrato 3 possui um risco menor do que o Contrato 2.

V. 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.

VI. 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.

VII. 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] J. Neumann, O. Morgenstern, *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press. 1944.

