

Referências Bibliográficas

[1] Ojanen, O.J.: **Comparative Analysis of Risk Management Strategies for Electricity Retailers**, Dissertação de Mestrado, Helsinki University, 2002.

[2] Silva, E.L.: **Formação de Preços em Mercados de Energia Elétrica**, Editora Sagra Luzzato, 2001.

[3] Marzano, L.G.B.: **Otimização de Portfólio de Contratos de Energia em Sistemas Hidrotérmicos com Despacho Centralizado**, Dissertação de Doutorado, PUC-Rio, 2004

[4] **Regras de Comercialização – CCEE – Versão Janeiro/2005.**

[5] Tarifas no Novo Modelo do Setor Elétrico- IX CTSE, 2004

[6] Brealey, R.; Myers, S.: **Princípios de Finanças Empresariais**, McGraw-Hill, 1992.

[7] D.G. Luenberger, **Investment Science**, Oxford University Press, 1988

[8] Levy & Sarnat, **Portfolio and Investment Selection – Theory and Practice.**

[9] Markowitz, H.: **Portfolio Selection** ; The Journal of Finance, vol. II, 1952.

[10] Jorion, P.: **Value at Risk: a nova referência para o controle do risco de mercado**, Bolsa de Mercadorias & Futuros, Editora Futura, 1998.

[11] Clewlow, F.; Strickland, C.: **Energy Derivatives: Pricing and Risk Management**, Lacima Publications, 2000.

[12] Uryasev, S.: **Conditional Value at Risk for General Loss Distributions**, Journal of Banking Finance, Vol. 26, 2002.

[13] Hull, J.: **Options, Futures and other Derivative Securities**, Prentice-Hall, 1993.

[14] Trigeorgis, L.: **Real Options, Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation**, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1996.

[15] Frota, A.E.F.: **Avaliação de Opções Americanas Tradicionais e Complexas**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Industrial, PUC-Rio, 2003.

[16] Castro, A.L.: **Avaliação de Investimento de Capital em Projetos de Geração Termoeletrica no Setor Elétrico Brasileiro usando Teoria das Opções Reais**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Industrial, PUC-Rio, 2000.

[17] Gomes, L.L.: **Avaliação de Termelétricas no Brasil Estudando o Melhor Momento de Investimento por Modelos de Opções Reais**, Dissertação de Doutorado, PUC-Rio, 2002.

[18] Mathias, C.M.V.: **Determinação do Valor de uma Concessão de Geração Hidráulica Utilizando a Teoria das Opções Reais**, Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, 2000.

[19] Gomes, L.L.: **Valor Adicionado aos Consumidores Livres de Energia Elétrica no Brasil por Contratos Flexíveis: Uma Abordagem pela Teoria de Opções**, Enanpad, 2005

[20] Regras CCEE Versão 3.5, Apêndice D — **Processo de Utilização dos Modelos de Otimização na Formação do Preço**.

[21] Moreira, A.R.B.; Rocha, K.: **Participação da Termogeração na Expansão do Sistema Elétrico Brasileiro**, Texto para Discussão n. 823 – Ipea, 2001.

[22] Dixit, A.; Pindyck R. S.: **Investment under Uncertainty**, Princeton University Press, 1994.

[23] Salles, A.C.N.: **Metodologias de Análise de Risco para Avaliação Financeira de Projetos de Geração Eólica**, Dissertação de Mestrado, COPPE-UFRJ, 2004

[24] Martin, N.C., Santos, L.R., Filho, J.M.D.: **Governança Empresarial, Riscos e Controles Internos: A Emergência de um Novo Modelo de Controladoria**, Revista Contabilidade & Finanças – USP, n.34, 2004.

[25] Camargo, J.M., Guedes, E.M.: **Setor Elétrico Brasileiro, Cenários de Crescimento e Requisitos para a Retomada de Investimentos**, Relatório Tendências, 2003

[26] Silva, C., Steola, D.J.F., Gonçalves, C., Pamplona, E.: **Ponderação do Custo de Capital Próprio para o Setor Elétrico Brasileiro**, XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2004.

Apêndice

Neste apêndice será apresentado um exemplo numérico para o processo de cálculo do valor esperado do portfólio apresentado na seção 4.3. Para ilustrar a aplicação da formulação desenvolvida nesta seção, será apresentado um portfólio onde os contratos de compra e venda de energia elétrica são comercializados em três submercados distintos: Sudeste/Centro-Oeste, Sul e Nordeste para um determinado mês t do período de estudo. No exemplo numérico apresentado no capítulo 5, as estimativas foram realizadas com base em 2000 simulações de PLDs para cada submercado x 100 simulações do MAB. Para um melhor entendimento da formulação proposta, o exemplo a seguir será desenvolvido para um cenário de preço e um cenário de consumo de energia.

O seguinte cenário foi utilizado para a realização do exemplo proposto:

- Ágio sobre o PLD: 30%
- PLD no Sub. S: R\$ 20/MWh
- PLD no Sub. SE: R\$ 100/MWh
- PLD no Sub. NE: R\$ 50/MWh
- Número de Horas: 720

A seguir são apresentados os dados referentes aos contratos de compra e venda vigentes para o mês t .

Tabela A-1 – Contratos de Compra

Contrato	Sub	Flexibilidade		Montante (MWmed)	Preço (R\$/MWh)
		Min	Max		
c	s	$FLEX \min_c$	$FLEX \max_c$	$E_{c,t}^s$	$P_{c,t}$
C1	NE	85%	115%	12,00	45,00
C2	S	90%	110%	7,00	38,00
C3	SE	100%	100%	13,00	60,00
C4	NE	85%	115%	10,00	50,00
C5	SE	90%	110%	20,00	35,00

Tabela A-2 – Contratos de Venda

Contrato	Sub	Tipo	Take or Pay Min	Max	Montante (MWmed)	Preço (R\$/MWh)
v	s		$TOP \min_v$	$TOP \max_v$	$E_{v,t}^s$	$P_{v,t}$
V1	SE	E	90%	110%	8,00	50,00
V2	S	C	90%	110%	11,00	45,00
V3	SE	C	85%	115%	10,00	48,00
V4	S	C	90%	110%	7,00	68,00
V5	NE		100%	100%	10,00	47,00
V6	S	C	80%	120%	10,00	57,00

Neste exemplo, os contratos de venda foram classificados em dois tipos distintos. O contrato V1 que apresenta a denominação “E” refere-se a um tipo de contrato cuja variação é exercida pelo consumidor independente dos montantes efetivamente consumidos.

Os contratos V2, V3, V4 e V6 que apresentam a denominação “C” referem-se a um tipo de contrato no qual é permitida ao consumidor a variação do montante contratado dentro de uma faixa entre um limite superior e um limite inferior, desde que esta variação represente o montante efetivamente consumido. Neste caso, o take or pay associado ao contrato será simulado através do movimento aritmético browniano, conforme equação (4.9). A seguir é apresentado um cenário de consumo gerado através desta simulação e que será utilizado neste exemplo.

Tabela A-3 – MAB para o Consumo de Energia

Contrato	Sub	Take or Pay Min	Max	Simulação MAB
V2	S	90%	110%	92%
V3	SE	85%	115%	110%
V4	S	90%	110%	95%
V6	S	80%	120%	119%

1. Cálculo da Receita Bruta:

O cálculo da receita bruta compreende uma parcela pela venda dos contratos bilaterais e uma parcela pela liquidação de eventuais sobras na CCEE a PLD. A equação a seguir apresentada o cálculo desta receita (equação 4.12):

$$RB_t^{p,j,s} = \sum_{v=1}^{nvs} \left(EC_{v,t}^{p,j,s} \cdot P_{v,t} \cdot nh_t \right) + \left(\Delta V_t^{p,j,s} \cdot PLD_t^{j,s} \cdot nh_t \right)$$

1.1. Parcela pela Venda dos Contratos Bilaterais:

Para o cálculo desta parcela $\sum_{v=1}^{nvs} \left(EC_{v,t}^{p,j,s} \cdot P_{v,t} \cdot nh_t \right)$, devemos inicialmente determinar o montante de energia efetivamente consumido para cada contrato de venda v , referente a simulação de consumo e a simulação de preço apresentado neste exemplo. Para o contrato V1 que apresenta a denominação “E” e que está no submercado SE, a flexibilidade apresentada nas equações (4.13) e (4.14) serão exercidas tendo como preço de exercício o preço do contrato de venda. Esta flexibilidade está sendo modelada como uma opção de compra com uma opção de venda simultânea.

Aplicando a equação (4.13) temos que $EC_{v,t}^{p,j,s} = E_{v,t}^s \cdot TOP \max_v$, ou seja, para o contrato V1 o montante efetivamente consumido será de 8,00 MWmed x 110% = 8,80 MWmed, já que o valor do PLD no submercado SE é de R\$100/MWh e o preço do contrato de venda é de R\$50/MWh.

Para os contratos V2, V3, V4 e V6 que apresentam a denominação “C”, o take or pay está associado diretamente à simulação do movimento aritmético browniano. A tabela a seguir mostra o cálculo da parcela da receita bruta associada aos contratos bilaterais de venda:

Tabela A-4 – Receita Bruta – Contratos Bilaterais

Contrato	Sub	Tipo	TOP	Contrato (MWmed)	Preço (R\$/MWh)	Energia Consumida (MWmed)	Receita (R\$)
v	s			$E_{v,t}^s$	$P_{v,t}$	$EC_{v,t}^{p,j,s}$	$EC_{v,t}^{p,j,s} \cdot P_{v,t} \cdot nh_t$
V1	SE	E	110%	8,00	50,00	8,80	316.800,00
V2	S	C	92%	11,00	45,00	10,12	327.888,00
V3	SE	C	110%	10,00	48,00	11,00	380.160,00
V4	S	C	95%	7,00	68,00	6,65	325.584,00
V5	NE		100%	10,00	47,00	10,00	338.400,00
V6	S	C	119%	10,00	57,00	11,90	488.376,00
				Total		58,47	2.177.208,00

Por exemplo, para o contrato de venda V6, a receita bruta de R\$ 488.376,00 refere-se ao montante efetivamente consumido de 11,90 MWmed, obtido pela simulação do movimento aritmético browniano, multiplicado pelo preço de venda de R\$57,00/MWh e pelo número de hora do mês (720h).

1.2. Parcela pela Liquidação de Sobras na CCEE

Para o cálculo desta parcela $(\Delta V_t^{p,j,s} \cdot PLD_t^{j,s} \cdot nh_t)$, devemos inicialmente determinar o montante de energia liquidado (vendido) na CCEE no mês t , referente a simulação de consumo e a simulação de preço apresentado neste exemplo. O montante a ser liquidado na CCEE é definido pela diferença da soma de todos os contratos de compra menos a soma de todos os contratos de venda simulados para cada submercado.

Até o momento, conhecemos os montantes efetivamente consumidos em cada contrato de venda. Para que o montante a ser liquidado seja conhecido, devemos inicialmente somar o total de contratos vendidos em cada submercado. A tabela a seguir, apresenta este resultado.

Tabela A-5 – Energia Vendida por Submercado

Sub	Energia Consumida (MWmed)
	$\sum_{v=1}^{nvs} EC_{v,t}^{p,j,s}$
SE	19,80
S	28,67
NE	10,00
Total	58,47

Para a determinação da soma de todos os contratos de compra em cada submercado, temos que conhecer o montante de energia efetivamente adquirido em cada contrato de compra c e o montante de energia adquirido em contratos de curto prazo.

No cálculo dos montantes de energia efetivamente adquiridos deve-se simular o exercício da redução (opção de venda) e aumento (opção de compra) destes contratos através das equações (4.18) a (4.20). O preço de exercício destas opções é o preço do contrato de compra. A tabela a seguir mostra os valores finais após o exercício destas opções.

Tabela A-6 – Energia Comprada após o Exercício das Opções

Contrato	Flexibilidade		Montante	Preço	PLD	Curto Prazo	Opção	Energia Comprada
	Min	Max	(MWmed)	(R\$/MWh)	(R\$/MWh)	(R\$/MWh)	Exercida	(MWmed)
c	$FLEX \min_c$	$FLEX \max_c$	$E_{c,t}^s$	$P_{c,t}$	$PLD_t^{j,s}$	$PLD_t^{j,s} \cdot (1 + A_t)$		$EA_{c,t}^{j,s}$
C1	85%	115%	12,00	45,00	50,00	65,00	Compra	13,80
C2	90%	110%	7,00	38,00	20,00	26,00	Venda	6,30
C3	100%	100%	13,00	60,00	100,00	130,00	-	13,00
C4	85%	115%	10,00	50,00	50,00	65,00	-	10,00
C5	90%	110%	20,00	35,00	100,00	130,00	Compra	22,00

Da mesma forma que fizemos para os contratos de venda, vamos somar o total de contratos adquiridos em cada submercado. A tabela a seguir, apresenta este resultado.

Tabela A-7 – Energia Adquirida por Submercado

Sub	Energia Adquirida (MWmed)
	$\sum_{c=1}^{ncS} EA_{c,t}^{j,s}$
SE	35,00
S	6,30
NE	23,80
Total	65,10

Pelas Regras de Comercialização estabelecidas pela CCEE, os agentes devem apresentar lastro para a venda de energia para garantir cem por cento de seus contratos. Temos que verificar então se após o exercício das opções embutidas nos contratos de compra e venda e de conhecido os montantes efetivamente consumidos, o portfolio apresenta insuficiência de lastro de venda. Caso o montante efetivamente consumido nos contratos de venda seja maior que o montante efetivamente adquirido, a diferença deve ser comercializada através de um contrato de curto prazo para que o portfolio não sofra penalização por insuficiência de lastro. A tabela a seguir apresenta este cálculo.

Tabela A-8 – Verificação de Lastro de Venda

Total Contratos		Energia (MWmed)
Compra	$\sum_{v=1}^{nvt} EC_{v,t}^{p,j}$	65,10
Venda	$\sum_{c=1}^{ncV} EA_{c,t}^j$	58,47
Sobra		6,63

Como a soma dos contratos de compra em todos os submercados é maior que a soma dos contratos de venda, não há necessidade de aquisição de energia por um contrato de curto prazo. Caso ocorra déficit, este contrato será adquirido no submercado que apresentar o menor PLD, já que estamos considerando que o ágio é o mesmo para todos os submercados. Esta verificação é realizada através das equações (4.22) e (4.23).

Após conhecido os montantes dos contratos de venda e dos contratos de compra, pode-se aplicar a equação (4.16) e determinar o montante a ser liquidado na CCEE em cada submercado. A tabela a seguir apresenta o resultado desta liquidação.

Tabela A-9 – Liquidação CCEE

Sub	Compra (MWmed)	Venda (MWmed)	Sobra (MWmed)	PLD (R\$/MWh)	Receita (R\$)
	$\sum_{c=1}^{ncs} EA_{c,t}^{j,s}$	$\sum_{v=1}^{nvs} EC_{v,t}^{p,j,s}$	$\Delta V_t^{p,j,s}$	$PLD_t^{j,s}$	$\Delta V_t^{p,j,s} . PLD_t^{j,s} . nh_t$
SE	35,00	19,80	15,20	100,00	1.094.400,00
S	6,30	28,67	0,00	20,00	0,00
NE	23,80	10,00	13,80	50,00	496.800,00
Total			29,00		1.591.200,00

1.3. Receita Bruta

Após calculado a parcela pela venda dos contratos bilaterais e a parcela pela liquidação de sobras na CCEE a PLD, pode-se determinar o valor da receita bruta para o cenário de preços e de consumo de energia em análise. A tabela a seguir mostra este resultado.

Tabela A-10 – Receita Bruta

Receita Bruta	R\$
Contratos Bilaterais $\sum_{s=1}^{nsb} \sum_{v=1}^{nvs} (EC_{v,t}^{p,j,s} . P_{v,t} . nh_t)$	2.177.208,00
Liquidação CCEE $\sum_{s=1}^{nsb} \sum_{v=1}^{nvs} (\Delta V_t^{p,j,s} . PLD_t^{j,s} . nh_t)$	1.591.200,00
Total $\sum_{s=1}^{nsb} RB_t^{p,j,s}$	3.768.408,00

2. Cálculo das Despesas:

As despesas são compostas por três parcelas. Uma corresponde a despesa de aquisição dos contratos bilaterais de compra, outra proveniente da aquisição dos contratos de curto prazo e a terceira referente à liquidação na CCEE. A equação a seguir apresenta estas três parcelas:

$$DESP_t^{p,j,s} = \sum_{c=1}^{ncs} \left(EA_{c,t}^{j,s} . P_{c,t} . nh_t \right) + \left(\Delta C_t^{p,j,s} . PLD_t^{j,s} + ECP_t^{p,j,s} . PLD_t^{j,s} . (1 + A_t) \right) nh_t$$

2.1. Parcela pela Compra dos Contratos Bilaterais:

Para o cálculo desta parcela $\sum_{c=1}^{ncs} \left(EA_{c,t}^{j,s} . P_{c,t} . nh_t \right)$ devemos inicialmente determinar o montante de energia efetivamente adquirido para cada contrato de compra c, referente a simulação de consumo e a simulação de preço apresentado neste exemplo. Estes cálculos foram realizados no item 1.2 e apresentados na tabela A-6. A tabela a seguir mostra os valores desta parcela obtidos pela multiplicação do preço de cada contrato com os montantes determinados anteriormente.

Tabela A-11 – Despesa com Contratos Bilaterais

Contrato	Sub	Preço (R\$/MWh)	Energia Comprada (MWmed)	Despesa (R\$)
c	s	$P_{c,t}$	$EA_{c,t}^{j,s}$	$EA_{c,t}^{j,s} . P_{c,t} . nh_t$
C1	NE	45,00	13,80	(447.120,00)
C2	S	38,00	6,30	(172.368,00)
C3	SE	60,00	13,00	(561.600,00)
C4	NE	50,00	10,00	(360.000,00)
C5	SE	35,00	22,00	(554.400,00)
Total			65,10	(2.095.488,00)

Por exemplo, para o contrato de compra C5, a despesa de R\$ 554.400,00 refere-se ao montante efetivamente adquirido de 22,00 MWmed, obtido pelo exercício da opção de compra, multiplicado pelo preço de compra de R\$35,00/MWh e pelo número de hora do mês (720h).

2.2. Parcela pela Liquidação na CCEE

Para o cálculo desta parcela $\sum_{c=1}^{ncs} (\Delta C_t^{p,j,s} . PLD_t^{j,s} . nh_t)$, devemos inicialmente

determinar o montante de energia liquidado (comprado) na CCEE no mês t , referente a simulação de consumo e a simulação de preço apresentado neste exemplo. Este montante foi determinado no item 1.2 e apresentado nas tabelas A-5 e A-7. Após conhecido os montantes dos contratos de venda e dos contratos de compra, pode-se aplicar a equação (4.21) e determinar o montante a ser liquidado na CCEE em cada submercado. Observa-se que para o cálculo deste montante, deve-se conhecer os montantes de energia adquiridos através de contratos de curto prazo. Como calculado anteriormente, o total de contratos de compra é superior ao total de contratos de venda e desta forma não é necessário a aquisição deste tipo de contrato. A tabela a seguir apresenta o resultado desta liquidação.

Tabela A-12 – Liquidação CCEE

Sub	Compra (MWmed)	Venda (MWmed)	Deficit (MWmed)	PLD (R\$/MWh)	Despesa (R\$)
	$\sum_{c=1}^{ncs} EA_{c,t}^{j,s}$	$\sum_{v=1}^{nvs} EC_{v,t}^{p,j,s}$	$\Delta C_t^{p,j,s}$	$PLD_t^{j,s}$	$\Delta C_t^{p,j,s} . PLD_t^{j,s} . nh_t$
SE	35,00	19,80	0,00	100,00	0,00
S	6,30	28,67	(22,37)	20,00	(322.128,00)
NE	23,80	10,00	0,00	50,00	0,00
Total			(22,37)		(322.128,00)

2.3. Despesa Total

Após calculado a parcela pela despesa dos contratos bilaterais e a parcela pela liquidação de déficits na CCEE a PLD, pode-se determinar o valor da despesa para o cenário de preços e de consumo de energia em análise. A tabela a seguir mostra este resultado.

Tabela A-13 – Despesa Total

Despesa		R\$
Contratos Bilaterais	$\sum_{s=1}^{nsub} \sum_{c=1}^{ncs} (EA_{c,t}^{j,s} . P_{c,t} . nh_t)$	(2.095.488,00)
Curto Prazo	$\sum_{s=1}^{nsub} ECP_t^{p,j,s} . PLD_t^{j,s} . (1 + A_t) . nh_t$	0,00
Liquidação CCEE	$\sum_{s=1}^{nsub} \Delta C_t^{p,j,s} . PLD_t^{j,s} . nh_t$	(322.128,00)
Total	$\sum_{s=1}^{nsub} DESP_t^{p,j,s}$	(2.417.616,00)

3. Resultado

A seguir é apresentado o resultado líquido das receitas e despesas no mês t , referente ao cenário de consumo e ao cenário de preços utilizados como exemplo neste apêndice. Para a determinação deste resultado, aplica-se a equação (4.11). A tabela a seguir apresenta este valor. Pode-se observar que para o cenário em estudo o resultado desta contabilização foi positivo. Para outros cenários de preço e consumo, o procedimento apresentado deve ser repetido.

Tabela A-14 – Resultado

		R\$
Receita	$RB_t^{p,j,s}$	3.768.408,00
Despesa	$DESP_t^{p,j,s}$	(2.417.616,00)
Total	$CONT_t^{p,j}$	1.350.792,00