

**XVI SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA****Avaliação de Investimentos do Setor de Distribuição Elétrica pelo Método de Opções Reais**

**José Eduardo Bueno Freire de Carvalho**  
**Companhia Energética de Brasília – CEB**  
joseeduardo@ceb.com.br

*Palavras-chave* – Valor Presente Líquido, Flexibilidade, Opções Reais.

**RESUMO**

A metodologia de opções reais é uma nova abordagem para a avaliação econômica de projetos. As opções reais partem do princípio de que a flexibilidade gerencial agrega valor a um projeto de investimento, considerando opções como diferir, expandir, reduzir, encerrar, vender, e outras iniciativas como direitos, mas não como obrigações gerenciais. Esta metodologia ganha importância à medida que o valor do empreendimento cresce, sendo de grande importância estratégica para projetos de elevadas aplicações de recursos, tais como a construção de uma subestação, por exemplo. Assim, esta metodologia pode encontrar muita aplicação nas empresas distribuidoras de energia elétrica. Este trabalho, portanto, descreve a metodologia de opções reais na avaliação de um projeto de investimento típico de uma concessionária de energia elétrica, no caso, a construção de uma subestação que se procederá em etapas. Para isso, haverá uma revisão da teoria do valor presente líquido, da teoria de opções financeiras e da análise de Monte Carlo.

**ABSTRACT**

The real options methodology is a new approach to the economic evaluation of projects. The real options comes from the principle that the managerial flexibility aggregates value to a investment project, considering that options like differ, expand, reduce, close, sell, or any other initiative are rights, but not obligations, of the management. This methodology wins importance as the enterprise value grows, being of great strategic importance to projects with high application of resources, such as the building of a substation, for example. So, this methodology may meet response to many applications of electric utilities. This work, therefore, describes the real options methodology at the evaluation of a typical electric utilities project, in the case, the building in steps of a substation. As complement, a revision of the theory of net present value, of the theory of financial options and of the Monte Carlo analysis will be made.

## 1. INTRODUÇÃO

Uma avaliação econômica eficiente é um desafio para as empresas que buscam maximizar o emprego dos seus recursos financeiros. Os acionistas e administradores sempre concordarão em realizar investimentos que aumentem o valor da empresa e que, portanto, tenham um rendimento superior ao custo de capital. Nesse sentido, o método do valor presente líquido, lançado por Irving Fisher [3] em 1930, surgiu como resposta a esse anseio e tornou-se a ferramenta mais amplamente utilizada pelas corporações para a avaliação econômica de investimentos. Um projeto com valor presente líquido positivo tornou-se sinônimo de lucro certo. De fato, um projeto de investimento que tem os seus fluxos de caixa líquidos futuros descontados pelo custo médio ponderado de capital, resultando num valor superior ao custo de investimento, representa uma escolha superior às opções disponíveis nos mercados, o que traduz um ganho real para o acionista. No entanto, o método do valor presente líquido é bastante restrito e não considera os ganhos de rentabilidade que a flexibilidade gerencial pode produzir. Um projeto com valor presente líquido negativo não precisa ser imediatamente rejeitado, pois podem haver opções de ação gerencial que aumentem o valor do projeto, tornando-o positivo. O método de opções reais, derivado das modernas teorias de precificação de opções financeiras, surgiu como proposta para quantificar o valor que a flexibilidade gerencial incrementa em um projeto de investimento.

A teoria de precificação de opções financeiras surgiu com o trabalho de F.Black e M.Scholes [1] e R. Merton [3] em 1973. F.Black e M.Scholes estabeleceram o cálculo para o valor de compra, também chamado de prêmio, de uma opção de compra do tipo européia, isto é, que só pode ser exercida no prazo final, de uma ação. Desde então as opções de ações são negociadas em bolsas de valores. Em 1979, J.Cox, S.Ross e M.Rubinstein desenvolveram um modelo binomial que gera uma árvore de decisão para a precificação de opções. Este modelo binomial é o mais indicado para a avaliação de opções reais, pois a árvore de decisão desenvolvida na metodologia tem um grande potencial estratégico, além de contemplar a possibilidade de se exercer a opção antes do prazo final, isto é, uma opção do tipo americana.

O método de opções reais, diferentemente das opções financeiros, lida com ativos tangíveis, tais como fábricas, minas, usinas etc. e utiliza o valor presente do projeto calculado no método do valor presente líquido como ativo subjacente sujeito a risco, ou seja, o valor presente, tal como o valor de uma ação, possui um caminho aleatório sujeito a vários fatores de risco que afetam o seu comportamento. Para projetos de concessionárias de energia elétrica, podemos citar como fatores que afetam o valor presente, as incertezas com relação às tarifas praticadas no futuro e quanto ao comportamento da demanda de energia elétrica. Este último item ganhou muito em volatilidade e incerteza após o chamado apagão ocorrido no setor elétrico em 2001, quando a demanda foi reduzida em mais de 20% em várias empresas. Para converter todos os fatores que afetam o valor presente de um projeto em uma única medida de volatilidade, adotamos o método de análise de Monte Carlo. Este método realiza uma série de simulações alterando aleatoriamente os dados, conforme curvas de distribuição de probabilidade e correlações previamente estabelecidas, gerando uma distribuição estatística da variável de interesse, no caso o valor presente do projeto, sendo que o desvio padrão desta distribuição é a própria volatilidade inerente ao projeto. Com o valor presente do caso base e a sua volatilidade inerente, é então possível gerar uma árvore de eventos, que é binomial. A partir da árvore de eventos é possível simular todo tipo de opção, tal como diferir, vender, expandir, retrair, encerrar, etc. resultando numa árvore de decisão e no “prêmio” que a possibilidade de executar determinada opção agrega ao valor presente do investimento.

Este trabalho ilustra a aplicação do método de opções reais para um exemplo típico de projeto de investimento de uma concessionária de energia elétrica, no caso o projeto de uma nova subestação. Todo o processo é desenvolvido em planilha do Excel e se divide em três etapas principais: a definição do valor presente do projeto de investimento, a definição da volatilidade pelo método de Monte Carlo e a aplicação do método de opções reais de avaliação econômica. Na primeira etapa é definido o processo de elaboração de uma planilha para estimar o valor presente do projeto, sendo também demonstrado o procedimento de cálculo do custo médio ponderado de capital. Na etapa seguinte, demonstra-se como trabalhar os dados para processar o método de análise de Monte Carlo, sendo que o processamento é efetuado por um software próprio para esta análise e que funciona com o Excel; este software é da Crystalball. Na etapa final temos a elaboração de uma árvore de eventos, uma análise de oportunidades e flexibilidade para a definição de opções e finalmente a obtenção de uma árvore de decisão com o resultado final.

## 2. VALOR PRESENTE LÍQUIDO DO PROJETO

O valor presente líquido (VPL) de um projeto é um instrumento para a tomada de decisão. Os proprietários de uma empresa, independentemente de suas preferências temporais, sempre concordarão com decisões sobre investimentos que maximizem a sua riqueza, assim, os administradores da empresa deverão empreender os recursos disponíveis em investimentos cujas taxas de retorno esperadas sejam mais elevadas do que os custos de oportunidade do capital. Um projeto que tem um valor positivo para o seu fluxo de caixa futuro esperado descontado pelo custo médio ponderado de capital garante a remuneração do capital de terceiros e de acionistas. A fórmula do VPL pode ser escrita da seguinte maneira [10]:

$$VPL = -Custo + VP \quad (\text{eq.1})$$

sendo, VP = valor presente do fluxo de caixa líquido do projeto.

O custo médio ponderado do capital é estimado como sendo [2]:

$$CMPC = k_b(1-T)\frac{B}{B+S} + k_s\frac{S}{B+S} \quad (\text{eq. 2})$$

onde, CMPC = Custo médio ponderado do capital;

$k_b$  = custo do capital de terceiros;

$k_s$  = custo do capital próprio;

T = tributação;

B = títulos da dívida;

S = patrimônio líquido.

Como demonstração da metodologia de avaliação econômica de projetos por opções reais será estudado o caso da proposta de uma nova subestação. Assim os passos do processo serão descritos nos próximos tópicos.

### 2.1. CÁLCULO DO VP DO PROJETO:

O projeto trata da construção de uma subestação 69/13,8 kV, 12,5 MVA denominada SE Vale. A subestação está prevista para entrar em operação no segundo semestre de 2004 e há um plano de expansão da subestação em 50 % da capacidade instalada em cinco anos. Os custos do investimento são de R\$ 1.950.000,00 na primeira etapa e de R\$ 1.480.000,00 na segunda etapa.

Na figura 1 podemos ver a planilha resultante para o cálculo do VPL do projeto para a primeira fase. A seguir descrevemos os parâmetros utilizados na planilha de cálculo do VPL. Alguns valores foram ligeiramente modificados por questões de sigilo.

#### 2.1.1. RECEITA OPERACIONAL BRUTA:

Nesta etapa são calculados os ganhos que um empreendimento proporciona. Podem ser considerados os faturamentos adicionais por aumento da capacidade, melhoria da tensão, redução das perdas técnicas, redução da energia não suprida etc. Para a primeira etapa do projeto foram considerados apenas os ganhos com redução das perdas técnicas, assim, foram realizadas simulações tanto para o sistema de subtransmissão como para o sistema de distribuição em 13,8 kV. O resultado da redução de perdas por ano é em MWH (megawatt-hora). Multiplicando o montante de energia economizada pelo valor do mix de compra de energia da concessionária obtemos o valor do recurso faturado. Para o valor do mix foi considerado também um aumento de 5% ao ano.

#### 2.1.2. DEDUÇÕES DA RECEITA:

São consideradas deduções previstas na legislação do setor elétrico tais como a reserva global de reversão, taxa de fiscalização da ANEEL etc. Além do previsto na legislação tributária, como o PIS/PASEP, COFINS, ICMS etc.

#### 2.1.3. DESPESAS OPERACIONAIS:

São considerados custos com operação, manutenção, administração, pesquisa, depreciação e juros.

#### 2.1.4. DESPESAS FINANCEIRAS:

São considerados custos tais como os juros sobre o capital de terceiros.

#### 2.1.5. IMPOSTO DE RENDA E CONTRIBUIÇÃO SOCIAL:

Considera a dedução decorrente do imposto de renda e da previdência social.

#### 2.1.6. INVESTIMENTOS:

O custo do investimento da construção é realizado com capital próprio ( pode conter recursos de empréstimos).

#### 2.1.7. CUSTO MÉDIO PONDERADO DO CAPITAL:

É o fator de desconto dos fluxos futuros de caixa líquido do empreendimento. É calculado pela equação 2 e envolve uma análise criteriosa do demonstrativo de resultados da empresa e do mercado de energia elétrica. O procedimento de cálculo dos elementos da equação são descritos a seguir:

- Custo do capital de terceiros,  $k_b$ :

Geralmente nas notas explicativas das demonstrações de resultados estão descritas as principais dívidas e as suas respectivas taxas de juros. Assim temos:

Título de Dívida	Principal (R\$ milhões)	Taxa de juros ao ano
1	220,534	15,88
2	61,35	26,96
3	191,128	31,53
Total:	473,012	

O custo  $k_b$  pode ser calculado pela média ponderada:

$$k_b = \frac{220,534 * 15,88 + 61,35 * 26,96 + 191,128 * 31,53}{473,012}$$

$$k_b = 23,64\%$$

- Tributação, T:

É a soma taxa de imposto de renda com a taxa de contribuição social:

$$T = 25\% + 9\% = 34\%$$

- Títulos da Dívida, B:

É a soma dos títulos da dívida, em R\$ milhões:

$$B = 473,012$$

- Patrimônio Líquido, S:

Este é o valor que consta no demonstrativo de resultados da empresa, em R\$ milhões:

$$S = 293,752$$

- Custo do Capital Próprio,  $k_s$ :

É calculado pelo modelo de precificação de ativos (CAPM) [12]:

$$K_s = I_r + (I_M - I_r) \times \beta + I_{rBr} \quad (\text{eq. 3})$$

onde,  $I_r$  é uma taxa de juros considerada livre de risco (é utilizado o treasure bond de 10 anos,  $I_r = 4,28\%$ );

$I_M$  é uma taxa de juros de referência do mercado nacional (é utilizado a taxa Selic anual,  $I_M = 15,88\%$ );

$I_{rBr}$  é uma taxa de medida do risco Brasil( calculado pelo JP Morgan, em 10/08/2004 era de 5,77%);

$\beta$  é o beta da empresa.

O beta é uma medida do retorno das ações de uma empresa em relação a um índice de mercado. No mercado acionário brasileiro existe o IEE, que é um índice relativo ao setor de energia elétrica. É interessante utilizar o valor de beta dos últimos 265 dias, aproximadamente 252 dias úteis, da própria empresa, mas se a empresa tem ações com muito pouca liquidez ou se não tem ações negociadas na bolsa de valores, então pode-se obter um valor de beta com a implementação de uma carteira de ações que tenha o mesmo rendimento do índice IEE.

O procedimento é o seguinte:

1) Levantam-se todos os valores do índice IEE e das três mais negociadas ações que fazem parte do portfólio que compõe o IEE para os últimos 252 dias úteis (isto é facilmente pesquisado na internet). Calcula-se o rendimento, a média, a variância e o desvio padrão. Isto é ilustrado na seguinte tabela:

	IEE	Rend.	Ação 1	Rend.	Ação 2	Rend.	Ação 3	Rend.
$V_{t-252}$	3279,64		8,30		22		27,1	
$V_{t-251}$	3370,25	2,76%	8,50	2,41%	21,4	-2,73%	27	-0,37%
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$V_{t-2}$	5784,15	-1,20%	9,87	-0,02759	37,01	-0,01043	51,95	0,003865
$V_{t-1}$	5916,67	2,29%	9,94	0,007092	37,9	0,024048	54,5	0,049086
$V_t$	5773,66	-2,42%	9,6	-0,03421	37,76	-0,00369	53,1	-0,02569
média		0,002538		0,001034		0,002731		0,003124
variância		0,000565		0,000914		0,001162		0,000888
Desvio p.		0,023778		0,030228		0,034085		0,0298

Sendo, rendimento igual a

$$R = \left( \frac{V_t}{V_{t-1}} - 1 \right) * 100 \quad (\text{eq. 4})$$

média [13] igual a

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^{251} R_i}{251} \quad (\text{eq. 5})$$

variância [13] igual a

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^{251} (R_i - \bar{R})^2}{251-1} \quad (\text{eq. 6})$$

e o desvio padrão [13] igual a

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{251} (R_i - \bar{R})^2}{251-1}} \quad (\text{eq. 7})$$

A média, a variância e o desvio padrão são relativos aos 251 valores de rendimento e são facilmente implementados numa planilha em Excel. Precisamos agora definir a matriz de covariâncias e a matriz de correlações. Sendo [10],

$$\text{Cov}(R_1, R_2) = \sigma_{12} = \text{Valor esperado de} \left[ (R_1 - \bar{R}_1)(R_2 - \bar{R}_2) \right] \quad (\text{eq. 8})$$

temos,

Matriz de Covariâncias				
	Ação 1	Ação 2	Ação 3	IEE
Ação 1	0,00091	0,00068	0,00062	0,00055
Ação 2	0,00068	0,00116	0,00073	0,00061
Ação 3	0,00062	0,00073	0,00089	0,00050
IEE	0,00055	0,00061	0,00050	0,00057

E,

$$\text{Correlação}(R_1, R_2) = \rho_{12} = \frac{\text{Cov}(R_1, R_2)}{\sigma_1 \cdot \sigma_2} \quad (\text{eq. 9})$$

temos,

Matriz de Correlações				
	Ação 1	Ação 2	Ação 3	IEE
Ação 1	1,00	0,66	0,69	0,76
Ação 2		1,00	0,72	0,76
Ação 3			1,00	0,70
IEE				1,00

Considerando  $P_1, P_2$  e  $P_3$  as proporções respectivas das ações 1, 2 e 3 que compõem a carteira, temos [5]:

$$\bar{R}_{carteira} = \bar{R}_{IEE} \quad (\text{eq. 10})$$

$$R_{carteira} = P_1 \cdot R_1 + P_2 \cdot R_2 + P_3 \cdot R_3 \quad (\text{eq. 11})$$

$$\sigma_{carteira}^2 = P_1^2 \sigma_1^2 + P_2^2 \sigma_2^2 + P_3^2 \sigma_3^2 + 2P_1 P_2 \sigma_1 \sigma_2 \rho_{12} + 2P_1 P_3 \sigma_1 \sigma_3 \rho_{13} + 2P_2 P_3 \sigma_2 \sigma_3 \rho_{23} \quad (\text{eq. 12})$$

Podemos usar a função Solver do Excel para obter os valores de  $P_1, P_2$  e  $P_3$  que atendam às condições acima para o menor valor de desvio padrão. Definimos o seguinte:

- Célula de destino :  $\sigma$
- Igual a: Min.
- Células variáveis:  $P_1, P_2$  e  $P_3$
- Submeter às restrições:  $R_{carteira} >= R_{IEE}$ ;  $P_1, P_2$  e  $P_3 >= 0$ ;  $P_1 + P_2 + P_3 = 1$ .

Executando a função Solver obtemos os seguintes valores: P1 = 29,03 %, P2 = 13,13 % e P3 = 57,84 %. Com estas proporções definimos uma série de 1 a 252 para a carteira. Procedendo tal como foi desenvolvido para as séries de ações temos a seguinte matriz de covariâncias:

Matriz de Covariâncias					
	ação 1	ação 2	ação 3	IEE	Carteira
ação 1	0,00091	0,00068	0,00062	0,00055	0,00071
ação 2	0,00068	0,00116	0,00073	0,00061	0,00077
ação 3	0,00062	0,00073	0,00089	0,00050	0,00079
IEE	0,00055	0,00061	0,00050	0,00057	0,00053
Carteira	0,00071	0,00077	0,00079	0,00053	0,00077

O beta [10] é definido como,

$$\beta_A = \frac{Cov(R_A, R_M)}{\sigma^2(R_M)} \quad (\text{eq. 13})$$

Assim, o beta da carteira é

$$\beta_{carteira} = \frac{0,00053}{0,00057} = 0,93$$

Os betas das ações 1, 2 e 3 são respectivamente 0,97, 1,09 e 0,88. O rendimento do índice de mercado do setor elétrico serve como *benchmark* para as empresas do setor. Assim, o beta de uma carteira com as ações mais negociadas em bolsa e com o mesmo rendimento do índice representa uma referência. A ação 3 possui o maior rendimento e os menores desvio padrão e beta. Isto indica uma ação muito bem vista pelo mercado, mas os seus valores não devem ser usados como referência pois representa um caso isolado. O beta da carteira é muito mais representativo e será usado para o cálculo do CAPM (eq. 3):

$$K_s = 4,28\% + (15,88 - 4,28) \cdot 0,93 + 5,77 = 20,84\%$$

Portanto, o custo médio ponderado do capital (eq. 2) é:

$$CMPC = 0,2364 \cdot (1 - 0,34) \cdot \frac{473,012}{473,012 + 293,752} + 0,2084 \cdot \frac{293,752}{473,012 + 293,752}$$

$$CMPC = 17,61\%$$

Desse modo, descontando o fluxo de caixa de encaixe (ver tabela 1) pelo fator do custo médio ponderado do capital, temos:

$$VP = 1.917.576,05$$

$$Custo = 1.950.000,00$$

Portanto o VPL (eq. 1) é:

$$VPL = -32.423,95$$

O valor presente líquido do projeto é negativo. A princípio este projeto seria rejeitado.

INVESTIMENTO TOTAL	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
• <b>Receita Operacional Bruta</b>	48.095,88	385.298,86	446.598,94	520.710,02	611.064,43	717.097,28	841.529,11	883.605,57	927.785,85	974.175,14	1.022.883,90	1.074.028,09	1.127.729,50	1.184.115,97	1.243.321,77	1.305.487,86	1.370.762,25
Redução de perdas técnicas (T&D)	48.095,88	385.298,86	446.598,94	520.710,02	611.064,43	717.097,28	841.529,11	883.605,57	927.785,85	974.175,14	1.022.883,90	1.074.028,09	1.127.729,50	1.184.115,97	1.243.321,77	1.305.487,86	1.370.762,25
• <b>Deduções à Receita</b>	-4.838,45	-38.761,07	-44.927,85	-52.383,43	-61.473,08	-72.139,99	-84.657,83	-88.890,72	-93.335,26	-98.002,02	-102.902,12	-108.047,23	-113.449,59	-119.122,07	-125.078,17	-131.332,08	-137.898,68
• <b>Receita Operacional Líquida</b>	43.257,43	346.537,79	401.671,09	468.326,59	549.591,35	644.957,30	756.871,29	794.714,85	834.450,59	876.173,12	919.981,78	965.980,87	1.014.279,91	1.064.993,91	1.118.243,60	1.174.155,78	1.232.863,57
• <b>Despesas Operacionais</b>	-185.319,53	-178.882,87	-186.795,88	-196.141,50	-207.297,76	-220.202,98	-235.156,93	-241.077,11	-247.254,55	-253.701,34	-260.430,14	-267.454,26	-274.787,64	-282.444,90	-290.441,38	-298.793,17	-307.517,15
• <b>Resultado do serviço</b>	-142.062,10	167.654,92	214.875,20	272.185,09	342.293,60	424.754,31	521.714,36	553.637,74	587.196,04	622.471,78	659.551,63	698.526,60	739.492,27	782.549,00	827.802,22	875.362,61	925.346,42
• <b>Despesas Financeiras</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
• <b>Imposto de renda + contribuição social</b>	0,00	-55.326,12	-70.908,82	-89.821,08	-112.956,89	-140.168,92	-172.165,74	-182.700,45	-193.774,69	-205.415,69	-217.652,04	-230.513,78	-244.032,45	-258.241,17	-273.174,73	-288.869,66	-305.364,32
• <b>Lucro líquido</b>	-142.062,10	112.328,80	143.966,39	182.364,01	229.336,71	284.585,39	349.548,62	370.937,28	393.421,34	417.056,09	441.899,59	468.012,82	495.459,82	524.307,83	554.627,49	586.492,95	619.982,10
• <b>Investimentos</b>	-1.950.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Capital próprio	-1.950.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
• <b>Ajustes</b>	185.319,53	78.000,00	78.000,00	78.000,00	78.000,00	78.000,00	78.000,00	78.000,00	78.000,00	78.000,00	78.000,00	78.000,00	78.000,00	78.000,00	78.000,00	78.000,00	78.000,00
• <b>Fluxo de caixa dos encaixes - FCE (após o IR)</b>	43.257,43	190.328,80	221.966,39	260.364,01	307.336,71	362.585,39	427.548,62	448.937,28	471.421,34	495.056,09	519.899,59	546.012,82	573.459,82	602.307,83	632.627,49	664.492,95	697.982,10
• <b>(1+CMPC)<sup>n</sup></b>	1,0000	1,1765	1,3842	1,6285	1,9159	2,2540	2,6519	3,1199	3,6706	4,3184	5,0807	5,9774	7,0324	8,2736	9,7339	11,4519	13,4732
• <b>FCE/(1+CMPC)<sup>n</sup></b>	43257,43	161775,4356	160357,1666	159879,65	160413,7533	160863,0834	161223,5077	143894,7659	128431,6842	114638,7759	102328,3386	91346,20738	81545,39275	72798,76112	64992,19121	58024,69023	51805,22073
• <b>VP<sub>0</sub></b>	1.917.576,05																
• <b>Custo</b>	1.950.000,00																
• <b>Valor Presente Líquido:</b>	-32.423,95																
VP <sub>1</sub>	2.205.148,88																
Ln(VP <sub>1</sub> /VP <sub>0</sub> )	0,139727337																
<b>Redução de Perdas (MWH/ANO)</b>	475,79	3630,10	4007,28	4449,78	4973,25	5558,30	6212,18	6212,18	6212,18	6212,18	6212,18	6212,18	6212,18	6212,18	6212,18	6212,18	6212,18
<b>Preço da energia (R\$/MWH)</b>	101,09	106,14	111,45	117,02	122,87	129,01	135,46	142,24	149,35	156,82	164,66	172,89	181,54	190,61	200,14	210,15	220,66
<b>Resultado (R\$)</b>	48095,88	385298,86	446598,94	520710,02	611064,43	717097,28	841529,11	883605,57	927785,85	974175,14	1022883,90	1074028,09	1127729,50	1184115,97	1243321,77	1305487,86	1370762,25
<b>Período</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>Margem de variação - Redução de Perdas</b>	0,1000	0,1414	0,1732	0,2000	0,2236	0,2449	0,2646	0,2828	0,3000	0,3162	0,3317	0,3464	0,3606	0,3742	0,3873	0,4000	0,4123
<b>Valor Mínimo - Redução de Perdas</b>	523,37	4143,48	4701,36	5339,74	6085,31	6919,80	7855,77	7969,25	8075,83	8176,64	8272,53	8364,14	8452,01	8536,57	8618,15	8697,05	8773,53
<b>Valor Máximo - Redução de Perdas</b>	428,21	3116,73	3313,20	3559,83	3861,20	4196,80	4568,59	4455,11	4348,53	4247,72	4151,83	4060,22	3972,35	3887,80	3806,21	3727,31	3650,83
<b>Margem de erro - Preço da energia</b>	0,2000	0,2828	0,3464	0,4000	0,4472	0,4899	0,5292	0,5657	0,6000	0,6325	0,6633	0,6928	0,7211	0,7483	0,7746	0,8000	0,8246

Tabela 1

## 2.2 CÁLCULO DA VOLATILIDADE DO PROJETO:

Após calcular o valor presente de um projeto é necessário estimar a sua volatilidade. A volatilidade de um projeto não é igual à volatilidade de quaisquer das variáveis insumo, como preço ou quantidade do produto, nem é igual à volatilidade do patrimônio da empresa [2]. A abordagem Monte Carlo simula a volatilidade de um projeto considerando as propriedades estocásticas e de correlação que as variáveis que afetam o resultado apresentam. O resultado é uma única estimativa de volatilidade, gerada a partir das incertezas que compõem um projeto de investimento. As estimativas das incertezas individuais são obtidas a partir de dados históricos ou de estimativas subjetivas da gerência.

Existem programas no mercado que executam o método de Monte Carlo. Podemos citar o Crystalball e o AtRisk. São programas que operam em planilhas do Excel. Estes programas executam várias simulações em que os parâmetros que afetam o valor presente de um projeto são alterados. A medida de volatilidade de que necessitamos é a da taxa de retorno. Assim, convertemos valores obtidos na planilha em taxas de retorno por meio da seguinte relação [2]:

$$VP_t = VP_0 e^{rt} \quad (\text{eq. 14})$$

$$\ln \frac{VP_t}{VP_0} = rt \quad (\text{eq. 15})$$

Para  $t = 1$ ,

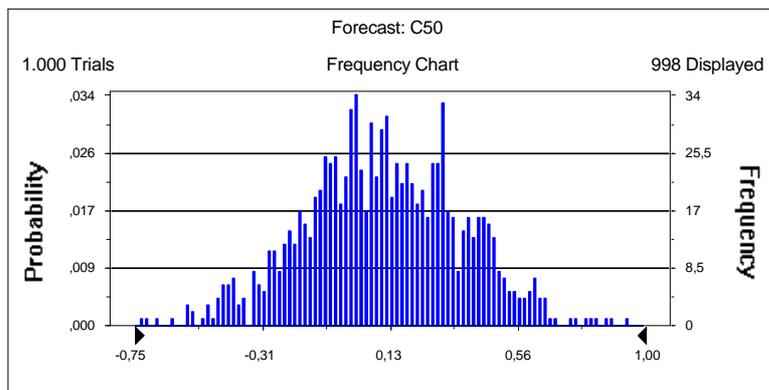
$$r = \ln \frac{VP_1}{VP_0} \quad (\text{eq. 16})$$

No caso em estudo adotamos como variáveis a redução de perdas, em MWH/ANO, e o preço da energia, em R\$/MWH (ver tabela 1). Utilizando o programa da Crystalball, modelamos para a redução de perdas uma distribuição de probabilidade uniforme considerando uma margem de variação inicial de 10%; assim a distribuição tem valor mínimo de 523,37 e máximo de 428,21, no primeiro período. Nos períodos subseqüentes o intervalo de confiança aumenta do seguinte fator [2]:

$$\text{Intervalo} = \sigma \sqrt{T} \quad (\text{eq. 17})$$

sendo,  $\sigma = 10\%$   
 $T = \text{período}$

Foi considerado também que a cada período a variável possui uma correlação de 0,8 com o período anterior. Para o preço da energia foi considerada uma margem de variação de 20%; o modelo de distribuição de probabilidade adotado foi a logarítmica normal. O intervalo de confiança também se alterou conforme a equação 17 e cada período possui uma correlação com o anterior de 0,8. A variável de interesse,  $r$ , tem como função a equação 16, sendo que o valor  $VP_0$  é mantido constante. O resultado do processamento é mostrado abaixo; o valor do desvio padrão é a volatilidade do projeto e o seu valor é 0,27:



<u>Estatística:</u>	<u>Valor</u>
Simulações	1000
Média	0,10
Mediana	0,10
Moda	---
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,27</b>
Coef. de Variabilidade	2,64
Valor Mínimo	-0,81
Valor máximo	1,01
Extensão da Variação	1,82
Erro Médio	0,01

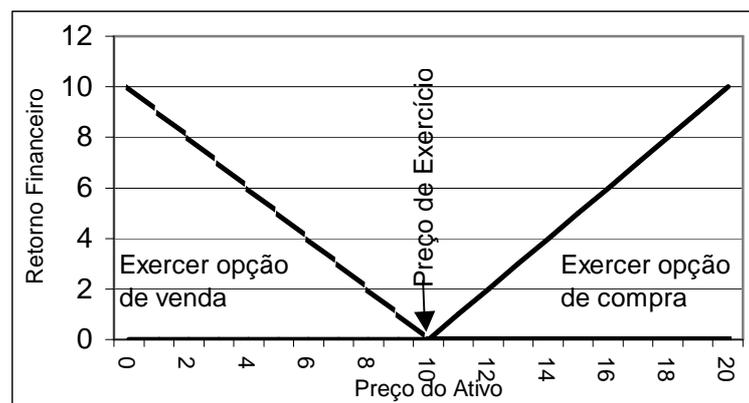
### 3. MÉTODO DE OPÇÕES REAIS:

O conceito de opções reais é derivado do conceito de opções financeiras. A diferença é que as opções reais lidam com ativos tangíveis, tais como subestações, fábricas etc. O conceito de opção se trata de um contrato que dá ao seu portador o direito de comprar ou vender um ativo a um preço prefixado em certa data, ou antes disso [10]. Ter um contrato de opção significa ter o direito de exercer o combinado, mas não a obrigação. O portador do contrato exerce o direito se e somente se isto lhe significar um ganho financeiro, caso contrário o contrato não tem valor.

Stephen Ross [10] define o seguinte vocabulário associado a opções:

1. Exercício da opção: é o ato de compra ou venda do ativo-objeto por meio de contrato de opção;
2. Preço de Exercício: é o preço fixado no contrato da opção ao qual o titular pode comprar ou vender o ativo-objeto;
3. Data de vencimento: data a partir da qual a opção não existe mais, ou se expira;
4. Opções americanas e européias: uma opção americana pode ser exercida a qualquer momento, até a data de vencimento. Uma opção européia difere de uma opção americana no sentido de que só pode ser exercida na data de vencimento;
5. Opção de compra: dá a seu titular o direito de adquirir um ativo a um preço prefixado durante certo período;
6. Opção de venda: dá a seu titular o direito de vender um ativo a um preço prefixado durante certo período.
7. Prêmio: é o valor pago pelo contrato de opção.

Os conceitos associados às opções podem ser ilustrados com o auxílio do gráfico abaixo. Supondo ser 10 o preço de exercício, o gráfico de linha contínua é o retorno financeiro de uma opção de compra. Quando o preço do ativo é igual ou menor que 10, a opção de compra vale zero, mas quando o preço do ativo é superior a 10, então o retorno é a diferença entre o preço do ativo e o preço de exercício. O ganho reside em pagar o preço de exercício e vender o ativo pelo preço de mercado; assim só se torna interessante exercer a opção de compra quando o preço de mercado do ativo supera o valor do preço de exercício. Na opção de venda, o retorno é conforme o gráfico de linha pontilhada. Neste caso só se deve exercer a opção quando o valor do ativo for inferior ao valor do preço de exercício. Assim quando o preço de mercado for abaixo do valor de exercício pode-se comprar o ativo no mercado e exercer a opção de venda vendendo o ativo pelo preço de exercício.

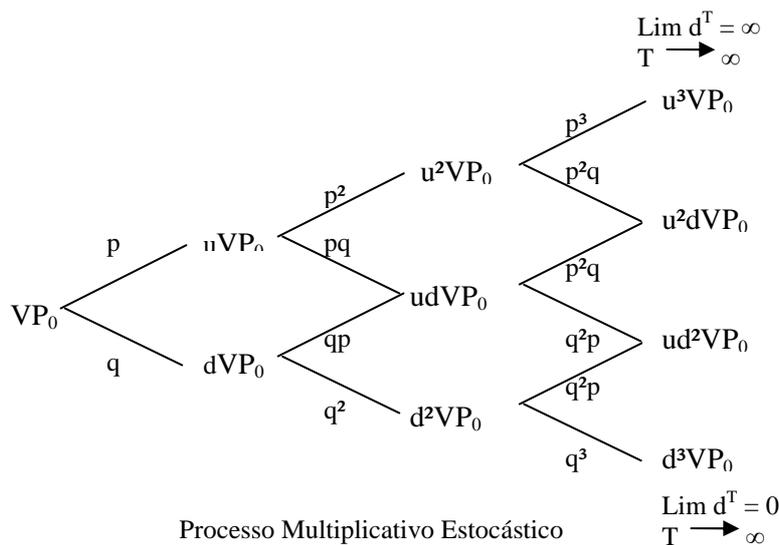


Em opções reais a proposta de expansão da capacidade de uma subestação pode ser considerada como uma opção de compra americana, ou seja, é uma opção que pode ser exercida a qualquer momento, desde que haja retorno financeiro. Caso uma subestação tenha um retorno muito abaixo do esperado e tenha muita ociosidade de potência instalada, então a redução da capacidade instalada com a recuperação de equipamento pode ser considerada como uma opção de venda americana, que só deve ser exercida quando a rentabilidade da subestação estiver muito baixa.

Para ser o portador de um contrato de opção é preciso pagar um prêmio. Black e Scholes [1] e Merton [7] desenvolveram em 1973 a teoria de precificação de opções financeiras e a metodologia para se determinar o preço justo do prêmio a ser pago por um contrato de opção. Cox, Ross e Rubinstein, em 1979, desenvolveram método binomial para a resolução do mesmo problema. Os dois métodos são usados para a avaliação de opções reais, no entanto, o método binomial é o mais recomendado [2], pois permite a simulação de mais de um tipo de opção, além de gerar uma árvore de decisão que tem importância estratégica. A resolução de opções reais pelo método binomial acontece em duas etapas: a elaboração de uma árvore de eventos e de uma árvore de decisão.

### 3.1. ÁRVORE DE EVENTOS:

A suposição é que o valor presente de um projeto é sujeito a um processo estocástico e que segue uma série multiplicativa ao longo do tempo. Isto significa que o valor presente tem um comportamento de certo modo errático ao longo do tempo e a série multiplicativa é uma espécie de grade que confina o movimento do valor presente com um certo intervalo de confiança. O processo multiplicativo se inicia com um valor  $VP_0$  no início de uma grade, em seguida, este valor assume duas posições: uma posição ascendente em que  $VP_0$  é multiplicado por um fator  $u$ , maior que 1, e uma posição descendente em que  $VP_0$  é multiplicado por um fator  $d$ , menor que 1. É pressuposto que  $u = 1/d$ . O valor de  $u$  está relacionado com a volatilidade do valor presente. A ilustração a seguir mostra o processo, sendo que  $p$  e  $q$  são probabilidades cuja soma é igual a 1.



No limite, quando o número de períodos tende a infinito, a distribuição dos resultados nas ramificações se aproxima de uma distribuição logarítmica normal. Copeland [2] implementou este processo numa planilha Excel (ver tabela abaixo), sendo que os parâmetros calculados são os seguintes

$$u = e^{\sigma \cdot \sqrt{\frac{l}{l \cdot s}}} \quad (\text{eq. 18})$$

, sendo  $\sigma$  = volatilidade do projeto  
 $l$  = vida da opção, em anos  
 $s$  = número de passos por ano.

$$d = \frac{1}{u} \quad (\text{eq. 19})$$

Entrada de Parâmetros:		Parâmetros Calculados:	
1. Valor Corrente do ativo subjacente, $VP_0$	1917587,12	Movimento Ascendente por passo (u):	1,2104
2. Vida da opção em anos	5	Movimento Descendente por passo (d):	0,8262
3. Desvio padrão anual	0,2700		
4. Número de passos por ano	2		

O resultado é a seguinte árvore de eventos:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1.917.587,12	2.320.973,06	2.809.215,74	3.400.165,75	4.115.428,71	4.981.155,25	6.028.997,07	7.297.264,15	8.832.325,42	10.690.304,03	12.939.129,26
1		1.584.309,80	1.917.587,12	2.320.973,06	2.809.215,74	3.400.165,75	4.115.428,71	4.981.155,25	6.028.997,07	7.297.264,15	8.832.325,42
2			1.308.956,20	1.584.309,80	1.917.587,12	2.320.973,06	2.809.215,74	3.400.165,75	4.115.428,71	4.981.155,25	6.028.997,07
3				1.081.459,15	1.308.956,20	1.584.309,80	1.917.587,12	2.320.973,06	2.809.215,74	3.400.165,75	4.115.428,71
4					893.501,17	1.081.459,15	1.308.956,20	1.584.309,80	1.917.587,12	2.320.973,06	2.809.215,74
5						738.210,35	893.501,17	1.081.459,15	1.308.956,20	1.584.309,80	1.917.587,12
6							609.909,13	738.210,35	893.501,17	1.081.459,15	1.308.956,20
7								503.906,71	609.909,13	738.210,35	893.501,17
8									416.327,55	503.906,71	609.909,13
9										343.969,67	416.327,55
10											284.187,62

### 3.2. ÁRVORE DE DECISÃO:

A elaboração da árvore de eventos parte do início para o fim. Na elaboração da árvore de decisão o processo se inicia no fim da grade para o início. É nessa etapa que são implementadas as opções. Na tabela seguinte temos uma lista dos parâmetros de entrada e dos parâmetros calculados, necessários à elaboração da árvore de decisão. Vamos fazer algumas considerações:

- No trabalho de Copeland está considerado como taxa anual uma taxa livre de risco, no caso a Treasure Bond americana. No cenário nacional não encontramos facilmente uma taxa livre de risco, por isso é proposto como taxa anual de referência a taxa SELIC;
- Foram considerados dois passos por ano. Assim, cada período na árvore é semestral;
- A opção de expansão consiste num aumento de 50 % da capacidade de atendimento a um custo de R\$ 1.480.000,00;
- A opção de redução consiste na redução de 10 % na capacidade de atendimento com o resgate de R\$ 200.000,00 em equipamentos;
- Taxa anual nominal/passo (n) =  $(1 + r)^{1/s} - 1$  (eq. 20), sendo r a taxa anual e s o número de passos por ano;
$$p = \frac{1 + n - d}{u - d}$$
- (eq. 21), sendo n a taxa anual nominal/passo, u o movimento ascendente por passo e d o movimento descendente por passo;
- $q = p - 1$ .

Entrada de Parâmetros:		Parâmetros Calculados:	
1. Taxa anual (SELIC):	15,88%	Movimento Ascendente por passo (u):	1,2104
2. Valor Corrente do ativo subjacente, $VP_0$	1917587,12	Movimento Descendente por passo (d):	0,8262
4. Vida da opção em anos	5	(1 + r/por passo):	1,076
5. Desvio padrão anual	0,2700	Taxa anual nominal/por passo:	0,076
6. Número de passos por ano	2	Probabilidade neutra em relação ao risco - p (ascendente):	0,651
7. 1 + taxa anual	1,1588	Probabilidade neutra em relação ao risco - q (descendente):	0,349
8.1. expansão (%)	50		
8.2. Investimento (R\$)	1.480.000		
9.1. Contração (%)	10		
9.2. Economia	200.000		

O resultado é a seguinte árvore de decisão:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	2.263.918,51	2.787.793,64	3.438.191,08	4.242.760,25	5.234.490,86	6.452.262,72	7.942.163,65	9.759.447,47	11.971.304,84	14.660.599,23	17.928.693,90
1		1.781.404,09	2.183.723,37	2.688.642,37	3.319.895,02	4.106.699,53	5.082.993,08	6.287.842,54	7.766.312,31	9.571.039,40	11.768.488,13
2			1.420.237,51	1.719.046,65	2.098.602,84	2.577.596,16	3.182.834,89	3.946.114,19	4.903.862,13	6.096.876,06	7.563.495,60
3				1.173.313,24	1.386.748,44	1.663.711,40	2.011.817,90	2.454.436,73	3.021.679,52	3.749.800,32	4.693.143,07
4					1.004.151,05	1.173.313,24	1.378.060,58	1.625.878,82	1.932.660,04	2.323.641,21	2.809.215,74
5						864.389,32	1.004.151,05	1.173.313,24	1.378.060,58	1.625.878,82	1.925.828,41
6							748.918,22	864.389,32	1.004.151,05	1.173.313,24	1.378.060,58
7								653.516,04	748.918,22	864.389,32	1.004.151,05
8									574.694,79	653.516,04	748.918,22
9										509.572,70	574.694,79
10											455.768,86

O valor presente do projeto ajustado pela flexibilidade gerencial é:

$$VP_{flexibilidade} = 2.263.918,51$$

Assim, o valor presente do projeto se torna:

$$VPL = 2.263.918,51 - 1.950.000,00$$

$$VPL = 313.918,51$$

O valor presente do projeto é positivo.

#### **4. CONCLUSÃO:**

Apresentamos o processo de avaliação econômica de um projeto pelo método de opções reais em todas as suas etapas e percebemos que esta metodologia traz uma nova dimensão ao processo de avaliação, ao agregar a incerteza de forma binomial.

O valor presente de um projeto tem um comportamento browniano, isto é, segue um caminho aleatório movido pelas forças inconstantes dos diversos riscos subjacentes ao processo. Desse modo, a análise pelo valor presente líquido, apesar de muito importante e reveladora; significa apenas uma posição instantânea de um processo que está sujeito a várias forças, inclusive da intervenção gerencial, que pode optar por vários tipos de medidas conforme a conveniência e o caminhar do retorno de um investimento.

Caso um projeto esteja apresentando um grande retorno, ampliar a capacidade de atendimento se torna uma opção que valoriza em muito todo o processo; assim, caso o retorno se torne abaixo do esperado, reduzir a capacidade recuperando parte do investimento, pode também ser uma opção que valoriza o processo.

Um projeto com o valor presente líquido positivo não significa uma garantia absoluta de que o investimento será rentável, assim como um projeto com o valor presente líquido negativo não deve de imediato ser descartado, pois em uma abordagem mais ampla, tal como a oferecida pelo método de opções reais, o mesmo pode se tornar rentável dependendo do valor da flexibilidade gerencial.

Desse modo, ao avaliar o projeto de uma nova subestação concluímos que o método de opções reais atende às expectativas de uma abordagem que mapeie as alternativas e que tem grande valor como ferramenta de avaliação de projetos de investimento típicos de uma concessionária de energia elétrica.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Black, F.; Scholes, M. The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, 637-659. Maio-junho de 1973.
- [2] Copeland, T. E.; Antikarov, V. *Opções Reais: Um Novo Paradigma Para Reinventar a Avaliação de Investimentos*. Campus. Rio de Janeiro. 2002.
- [3] Fisher, I. G. *The Theory of Interest*. Augustus M. Kelly. New York. Reimpressão da Edição de 1930.1965.
- [4] Hirshleifer, J. On the Theory of Optimal Investment Decision. *Journal of Political Economy* 66. Agosto. 1958.
- [5] Markowitz, H. M. Portfolio Selection. *The Journal of Finance* 7, 77-91. 1952.
- [6] Markowitz, H. M. *Foundations of Portfolio Theory*. *The Journal of Finance*. Volume XLVI, Nº 2. Junho. 1991.
- [7] Merton, R. The Theory of Rational Option Pricing. *Bell Journal of Economics and Management Science*, 141-183. Primavera de 1973.
- [8] Miller, M.; Modigliani, F. Some Estimates of the Cost of Capital to Electric Utility Industry, 1954-1957. *American Economic Review*. Junho de 1966.
- [9] Mun, J. *Real Options Analysis: Tools and Techniques for Valuing Strategic Investments and Decisions*. John Wiley & Sons, Inc. Estados Unidos. 2002.
- [10] Ross, S. A.; Westerfield, R. W.; Jaffe, J. F. *Administração Financeira*. Atlas. 2ª Edição. São Paulo. 2002.
- [11] Sharpe, W. F. A Simplified Model for Portfolio Analysis. *Management Science* 9, 277-293. 1963.
- [12] Sharpe, W. F. Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium Under Conditions of Risk. *The Journal of Finance* 19, 425-442. 1964.
- [13] Stevenson, W. J. *Estatística Aplicada à Administração*. Harper & Row do Brasil. São Paulo. 1981.