



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

BR/GPL/25  
13 a 16 de Outubro de 2013  
Brasília - DF

## **GRUPO – VII**

### **GRUPO DE ESTUDO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GPL**

#### **ANÁLISE DE INVESTIMENTOS EM PROJETOS DE TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO – CONSIDERANDO INCERTEZAS E AS FLEXIBILIDADES GERENCIAIS**

**ALBUQUERQUE, V.O.(1\*); Brandão, M.C.(2);Montevecchi, J.A.B.(2);PAMPLONA, E.O.(2);  
CEMIG D (1) UNIFEI(2)**

## **RESUMO**

No processo de tomada de decisão os gestores vêm buscando novas alternativas para valorar flexibilidades gerenciais e a capacidade da empresa frente a um novo cenário de mercado. A ferramenta Opções Reais é utilizada em análise de investimentos para quantificar as flexibilidades. As flexibilidades podem ser traduzidas como a volatilidade dos projetos, porém existem divergências nas referências do tema com relação ao método de cálculo da volatilidade (incerteza). Este trabalho apresenta a aplicação de métodos já utilizados no mercado financeiro para calcular, no momento da decisão, o valor embutido destas flexibilidades em um exemplo real de distribuição. O resultado da aplicação torna claro que os projetos são subavaliados quando se usa apenas as técnicas tradicionais de avaliação de investimentos.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Análise de Investimentos, Flexibilidade Gerencial, Opções Reais, Risco e Volatilidade

## **1.0 - INTRODUÇÃO**

No ambiente empresarial os investimentos ocorrem a todo momento e são considerados como o primeiro passo nas atividades de geração de valor. Portanto, se torna tão importante o conhecimento dos métodos e técnicas para tomada de decisão dos investimentos, estas ações buscam uma rápida adaptação às mudanças, procurando investir em projetos que venham a criar opções, tornando-as, desta forma, mais flexíveis. Neste contexto, o uso estático das técnicas tradicionais de avaliação de investimentos, principalmente o Fluxo de Caixa Descontado (FCD), tem sofrido duras críticas, uma vez que não têm sido capazes de captar o valor da "flexibilidade administrativa" presente em muitos projetos. Tal fato tem levado praticantes de administração e acadêmicos à busca de métodos mais sofisticados de avaliação de investimentos que sejam capazes de lidar com a incerteza, a irreversibilidade e a aprendizagem. A habilidade da teoria de precificação de opções em quantificar a flexibilidade em investimentos em projetos estratégicos a torna uma opção atraente se comparada à análise feita pelo padronizado FCD.

Muitas vezes o momento de investir pode ser postergado ou adiantado em razão da possibilidade de alterações de diversas variáveis. Para investimentos em projetos de transmissão e distribuição o momento adequado depende, entre outras variáveis, de demanda, confiabilidade, tarifas e do ciclo de revisão tarifária.

A Teoria de Opções Reais - TOR permite analisar o investimento considerando quando a opção de investir será exercida ou não e o valor criado por se ter essa opção, agregando mais informações ao processo de tomada de decisão sobre investimentos no Setor Elétrico.

(\*) Endereço Av. Barbacena, n° 1200 – SA6ºA1 – CEP 30.191-131 - Belo Horizonte, MG – Brasil  
Tel: (+55 31) 3506-3303 – Fax: (+55 31) 3506-2948 – Email: voa@cemig.com.br

Espera-se que esta metodologia de análise econômica seja utilizada para as demais áreas da empresa e não apenas a área de planejamento, agregando valor econômico para a empresa como um todo.

O objetivo deste trabalho é demonstrar que a utilização dos modelos tradicionais de análise de investimento pode estar levando a empresa a uma sub-avaliação de seus investimentos. O trabalho fornecerá uma evidência empírica através da aplicação da TOR a um caso real de transmissão e distribuição, ajudando, desta forma, a diminuir o gap entre a teoria e a prática da Teoria das Opções Reais.

Outros objetivos são:

- Apoiar o decisor no controle do projeto, informando qual o melhor momento de investir;
- Considerar impactos da revisão tarifária no momento de investir;
- Calcular a volatilidade de um projeto real do setor elétrico;
- Considerar fatores como demanda e confiabilidade de fornecimento.

## 2.0 - APLICAÇÃO DA TEORIA DE OPÇÕES REAIS EM PROJETO DE SEP

A avaliação de ativos reais, como os projetos de investimento em geração, transmissão e distribuição é uma questão relevante para os participantes do mercado de energia elétrica. Sob a ótica da Teoria das Opções Reais, a interação da irreversibilidade, da flexibilidade e da incerteza, exerce uma diferença significativa na avaliação de uma alternativa de investimento. A modelagem das incertezas e das flexibilidades gerenciais disponíveis durante o ciclo de vida de um projeto é essencial para a determinação do risco de um investimento e os empreendimentos no setor elétrico possuem um considerável grau de irreversibilidade. Este item apresenta trabalhos concernentes à prática da análise de investimentos no setor elétrico, mais especificamente em distribuição e transmissão, utilizando a Teoria das Opções Reais.

Miranda Filho (2005) [1] em dissertação baseada em problemas reais em sistemas de distribuição, avalia pelo método tradicional três casos de expansão da rede de distribuição, que foram efetuados seis anos antes ao estudo, comparando dados calculados na época com dados obtidos na realidade. Como resultado foi constatado que um dos casos superou as expectativas tendo se tornado altamente lucrativo, um segundo caso apresentou VPL nulo, e o terceiro ficou muito abaixo das expectativas, constatando assim a necessidade uma nova ferramenta que possa capturar melhor as incertezas do projeto, o que no caso específico de distribuição é a demanda local. O autor cita as opções mais frequentes existentes em projetos de distribuição: opção de diferimento (opção de compra americana encontrada na maioria dos projetos em que existe a possibilidade de adiar o início do projeto), opção de abandono de um projeto por um preço fixo (mesmo que esse preço decline com o tempo, é formalmente uma opção de venda americana), opção de contração (reduzir a dimensão de um projeto, mediante a venda de uma fração do mesmo a um preço fixo, também é uma opção de venda americana), e opção de expansão de um projeto (pagando-se mais para aumentá-lo é uma opção de compra americana).

Nesse trabalho o autor faz um estudo da abordagem das incertezas, e chega a citar as principais abordagens que podem ser obtidas para opções reais: abordagem do retorno logarítmico do fluxo de caixa, abordagem do valor presente logarítmico, e por fim a abordagem consolidada da incerteza, a qual é utilizada no trabalho. Nesse caso específico o autor considerou que a incerteza principal do projeto é o crescimento de demanda, o qual foi calculado por ano em 3,7%.

A partir do processo de análise por opções reais, foi calculada a opção de diferimento de um investimento em expansão da distribuição, levando em consideração a volatilidade do mercado de demanda máxima. O método utilizado foi o binomial seguindo os passos da árvore de eventos, simulação e árvore de decisão. O resultado obtido foi o exercício da opção de adiamento até o ultimo período, quando a demanda se torna relevante e o investimento será rentável.

Ramanathan & Varadan (2006) [2] exploram problemas com investimento em transmissão em um ambiente desregulado através de opções reais. Neste artigo são discutidos todos os passos para a análise por opções em um problema de transmissão. Os autores explicam a necessidade de se seguir 3 passos para criar a árvore binomial, o primeiro é definir o valor do ativo e sua evolução ao longo dos períodos, o segundo é determinar o valor das opções nos nós terminais, e o terceiro é o cálculo do valor em cada nó intermediário através do movimento backward. É utilizado o movimento geométrico browniano para obter os coeficientes de subida e descida.

Sendo  $\sigma$  a volatilidade do movimento geométrico Browniano - MGB. Na sequência é apresentada a fórmula neutra ao risco. É ainda usada a simulação de Monte Carlo para auxiliar a obtenção do valor do projeto. Nesse artigo não é apresentada a resolução de um caso real, foi feita apenas a explanação da teoria, porém útil para verificação da metodologia utilizada para a área.

Na referencia [3] Marangon et al. (2006) aplicam Teoria de Opções Reais para definir qual o melhor momento para se investir em uma subestação de distribuição, expandindo assim sua capacidade. Neste trabalho alguns tópicos pertinentes ao setor elétrico brasileiro são discutidos: ambiente regulatório, fator  $X$ , período pré-revisão tarifária,

período pós-revisão tarifária, etc. Foi utilizada a simulação de Monte Carlo para obtenção da volatilidade, bem como o movimento aritmético browniano (Processo de Wiener padrão). Aplicou-se também a abordagem consolidada da incerteza definida por Copeland & Antikarov, onde todas as incertezas consideradas sobre o valor do ativo são consideradas em uma única incerteza: a variação percentual do projeto ao longo do tempo. E finalmente o desvio padrão da variação percentual do retorno do projeto é obtido através da Simulação de Monte Carlo - SMC. Quanto à árvore de eventos, esta foi montada de acordo com os incrementos de subida ( $u$ ) e descida ( $d$ ).

Como resultado foi encontrado que no caso de um investimento em distribuição em que há redução de perdas, os cálculos mostraram a viabilidade do projeto, e que deve se investir no primeiro momento nesse projeto, já no caso em que não há redução das perdas não se deve investir.

Em Pinto et al. (2007) [4] aplicam técnicas de otimização, associadas ao gerenciamento de risco e opções reais na distribuidora Eletropaulo, especificamente em contratos de compra de energia. Através do objetivo principal: a redução de custos associados às decisões (presentes e flexibilidade das futuras), os autores formulam restrições considerando a regulação vigente no mercado brasileiro.

A principal incerteza considerada é o crescimento da demanda por carga ( $Load(s,t)$ ), o que gera quatro cenários possíveis no horizonte de 2006 a 2015. Por outro lado o risco considerado é o de déficit de energia ( $rd(s,t)$ ), o que no caso brasileiro resulta em penalidades, que também devem ser consideradas no custo final. Neste estudo o risco foi considerado através do controle de Boolean, ou seja, fato de o risco (déficit de energia) poder ou não ocorrer, assumindo então os seguintes valores na fórmula: (0;1). Nesse caso a questão da volatilidade não foi abordada. Ao final de toda a metodologia descrita foi desenvolvida um algoritmo de otimização, que incorpora opções reais e gerenciamento de risco. Como resultado foi possível determinar qual é o melhor portfólio que deve ser contratado no início do período, e quais são as alternativas dados os cenários futuros.

Nos EUA as empresas do setor transmissão elétrica consideram para o cálculo da taxa de receita anual (AR) o ponto de pico diário de carga, e os investimentos nas linhas, conforme Salazar, Liu & Chu (2007) [5]. Nesse artigo os autores demonstram através de uma formulação para o ponto de carga máxima, que um mecanismo de realocação dos custos pode incentivar o investimento nesse setor.

Vasquez & Olsina (2007) [6] aplicam opções reais no planejamento de expansão de linhas de transmissão. Inicialmente é levantada a questão: a geração distribuída, que leva maior flexibilidade ao projeto pode superar a economia de escala trazida pela transmissão? O artigo analisa a operação de uma mina que necessita de uma linha de transmissão, são consideradas três possibilidades inicialmente: transmissão em 220 kV circuito simples, 220 kV circuito duplo e 500 kV circuito simples. A incerteza é a respeito do sucesso ou não do empreendimento, no caso positivo a demanda por carga irá aumentar para 120 MW, com probabilidade de ocorrência  $p=0,5$ , no caso negativo a demanda continuará constante em 60 MW  $p=1-0,5$ . Através da formulação por otimização estocástica constatou-se que a opção de transmissão em 220 kV circuito simples satisfaz tanto as restrições técnicas quanto as econômicas. Em um segundo passo, é analisada a possibilidade de construção de uma geração distribuída em duas fases, quando se espera para ver o resultado e assim investir, pode-se a partir daí valorar a flexibilidade dessa segunda opção. Calculando-se as possibilidades da mesma forma por otimização estocástica, foi possível comprovar que a opção de geração distribuída, mesmo não apresentando uma economia de escala tem maior valor que o investimento em transmissão.

### 3.0 - ANÁLISE DE UM CASO REAL

O trabalho adota o processo de avaliação em um caso do setor elétrico descrito na figura 1. Sendo a descrição de cada etapa:

- 1ª Etapa – nesta etapa são aplicadas as métricas tradicionais de avaliação de investimentos, e critérios como o VPL, TIR, PayBack e custo benefício são analisados. Como resultado, obtém-se o valor do projeto calculado pelas metodologias do fluxo de caixa descontado - FDC;
- 2ª Etapa – nesta etapa são definidas as variáveis de incerteza do projeto, que podem ser definidas através de uma análise de sensibilidade realizada em uma Simulação de Monte Carlo, ou através do conhecimento de especialistas. Nessa fase os dados históricos são trabalhados a fim de produzir uma previsão de cenários futuros. A partir desses parâmetros pode-se realizar novamente uma SMC com fim de obter o valor da volatilidade, que nesse exemplo irá considerar a abordagem consolidada da incerteza. Por fim com o valor da volatilidade do projeto, pode-se construir uma árvore de eventos, na qual todos os possíveis valores para os próximos períodos são elucidados. Sendo esta árvore de eventos o produto da etapa 2;

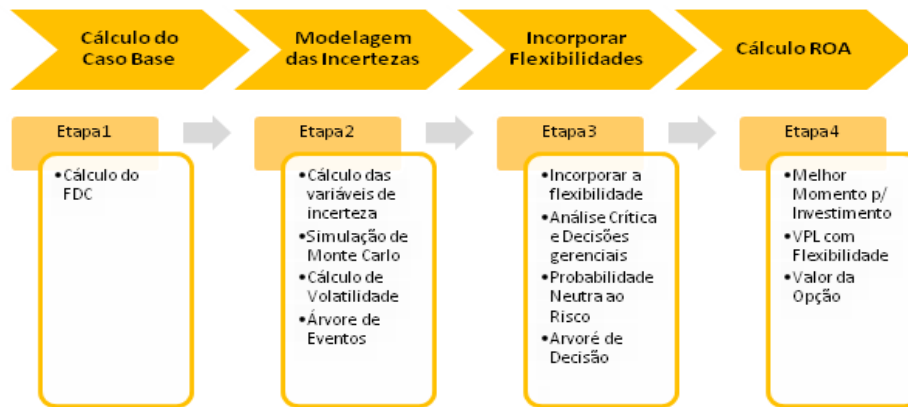


Figura 1 – Processo de Avaliação por Opções Reais para um caso de Distribuição

- 3ª Etapa - nesta etapa a árvore de eventos será utilizada para incorporação da flexibilidade, uma vez ciente dos possíveis valores que seu projeto irá desenvolver ao longo dos períodos, a gerência poderá lançar mão de estratégias e realizar o processo de tomada de decisão de forma eficiente. Pela análise crítica das possíveis decisões ótimas futuras, valores associados a estas são incorporados à árvore do projeto. Aplicando-se probabilidade neutra ao risco esses valores são trazidos à data zero, sendo neste momento calculado o valor das opções no projeto. O resultado desta etapa é uma árvore de decisão com as iniciativas que maximizam o valor do projeto de acordo com a realização dos cenários futuros;
- 4ª Etapa - nesta etapa determina o melhor momento para se investir no projeto, bem como a avaliação do projeto com flexibilidade, onde a principal saída é o valor das opções do projeto. O objetivo nesta etapa é a tomada de decisão, e o uso da metodologia aplicada como justificativa para elaboração do plano de ações do projeto junto à alta administração.

### 3.1 Concepção do Problema

A análise proposta da teoria de opções reais é a aplicação em um projeto de expansão de capacidade de atendimento de uma subestação (SE) de uma distribuidora de energia, levando-se em consideração as incertezas presentes no projeto inicial de execução.

A distribuidora já possui a concessão em certa área de suprimento de energia, e previsões apontam o crescimento de consumidores locais. Nesse cenário a rede de distribuição de Alta Tensão (AT) não suportaria o crescimento da demanda previsto na região. Torna-se então necessária uma solução de planejamento como a construção de uma nova SE e linhas de distribuição AT ou ampliação das transformações das SE e recapitação das linhas existentes na região e construção de redes de distribuição em Média Tensão (MT). Em contrapartida, deve-se analisar a opção de postergar o investimento, até o momento em que o exercício da opção seja mais vantajoso.

O projeto tem um período de vida de 30 anos, tempo no qual a empresa irá remunerar seu investimento à medida que o deprecia, e também receber uma parcela do ganho perdendo advindo da realização das novas estruturas. Durante os primeiros anos outra parcela das entradas do investimento é referente à receita adicional pela venda de energia para a nova demanda agregada.

Foram levantados todos os custos necessários para implementação das alternativas propostas, bem como os ganhos advindos com a diminuição das perdas no sistema elétrico. No estudo de planejamento foram avaliadas seis alternativas de atendimento, por se tratar de um projeto de grande porte, de forma a proporcionar ao gestor um maior número de possibilidades para tomada de decisões gerenciais. A programação de investimentos de curto, médio e longo prazo para cada alternativa pode ser analisada em [7]. O planejamento foi elaborado de acordo com a regulação referente ao atendimento de demanda, prevendo as penalidades, caso a demanda dos consumidores não seja atendida.

As alternativas 4 e 5 foram eliminadas da análise, por não satisfazerem quesitos de confiabilidade do sistema elétrico. Já as demais alternativas foram minuciosamente analisadas quanto às restrições técnicas, sendo que estas atendem às restrições.

### 3.2 Modelagem

Conforme proposto no processo de avaliação por opções reais descrito na seção anterior, foram aplicados os passos para um caso real de expansão da região em questão. Ressalta-se que consumidores locais vinham

apresentando taxas de crescimento da demanda acima da média histórica da empresa, necessitando assim de investimentos em obras de reforços no sistema elétrico.

Os passos do processo de avaliação por opções reais são apresentados nos itens a seguir:

### 3.2.1 Etapa 1 – Cálculo pelo método FDC

Considerando os dados do projeto, foram montadas planilhas de crescimento de mercado, benefícios e custos de todas alternativas, resultando na avaliação de investimento apresentada na tabela 1. Verifica-se que todas as alternativas são viáveis apresentando um *VPL* positivo, e uma *TIR* bem acima da taxa mínima de atratividade exigida pela empresa em seus investimentos.

Tabela 1 – Resultado obtido pelos métodos tradicionais

	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 6
Total de investimento em Distribuição AT	17.333,55	19.665,23	17.590,92	19.299,73
Total de investimento em Alim. Primários + Redes Subterrâneas	1.960,69	2.217,67	2.217,68	2.906,88
Total de investimento em Redes Primárias e Secundárias	16.049,31	16.049,31	16.049,31	16.049,31
<b>Total do investimento</b>	<b>35.343,55</b>	<b>37.932,21</b>	<b>35.857,91</b>	<b>38.255,92</b>
<b>Valor Presente Líquido (VPL) descontado a 14,00%</b>	<b>3.200,53</b>	<b>3.363,43</b>	<b>3.854,21</b>	<b>2.522,31</b>
Relação Benefício/Custo	1,05	1,05	1,06	1,04
R\$/kW Adicional	6243,29	6700,57	6334,15	6757,75
Taxa Interna de Retorno Modificada (MTIR) (reinv. 14,00%)	17,35%	17,38%	17,72%	17,27%
<b>Taxa Interna de Retorno (TIR)</b>	<b>39,86%</b>	<b>39,14%</b>	<b>45,73%</b>	<b>40,08%</b>

\* Valores em R\$1000

As alternativas são classificadas de acordo com os quesitos de desempenho em relação à métrica tradicional de avaliação de desempenho econômico, conforme apresentado na tabela 2. Neste momento os tomadores de decisão optaram por executar a alternativa 3, pois ao reportar os estudos relacionados ao projeto à diretoria, as informações foram imediatamente aceitas, uma vez que é prática comum adotar essa metodologia de decisão na empresa.

Tabela 2 – Classificação das alternativas

	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 6
Investimentos	1º	3º	2º	4º
VPL	3º	2º	1º	4º
TIT	3º	4º	1º	2º
Benefício/Custo	2º	2º	1º	4º

No entanto resta saber qual é o resultado da flexibilidade obtida para o projeto. Se a indicação é para o investimento na alternativa 3, e qual são as melhores possibilidades de investimento na árvore de decisão.

### 3.2.2 Etapa 2 – Análise das variáveis de incerteza

As principais fontes de incerteza consideradas no projeto, de acordo com o conhecimento de especialistas, foram as variáveis: demanda, preço final da tarifa de venda de energia da distribuidora e o Custo Médio Ponderado de Capital (WACC).

As incertezas múltiplas podem ser combinadas resultando em uma única incerteza. Portanto, nesta etapa foram modeladas as incertezas de duas maneiras: de acordo com a metodologia Copeland e Antikarov (CA) [8], onde os parâmetros variáveis simulados por Monte Carlo influenciam apenas no  $VP_1$ , e também de acordo com Herath e Park (HP) [9], onde os parâmetros variáveis são simulados tanto no  $VP_0$  como no  $VP_1$ .

Porém, antes de combinar as incertezas, cada parâmetro foi avaliado separadamente, de forma a ser modelado de acordo com seu comportamento histórico e projeções futuras, conforme se segue:

- **Demanda** – Para definição da previsão de demanda foram utilizados dados históricos da empresa, juntamente com estudos de previsão para a região por especialistas de planejamento da empresa. Para inserção dos possíveis cenários futuros de demanda, com base nas informações utilizadas, verificou-se a

média de crescimento de acordo com a tabela 3, e um desvio padrão de 0,32% a.a. para todos os períodos, foi utilizada a distribuição normal, após realização de testes de normalidade com os dados obtidos.

Tabela 3 – Crescimento da demanda na região

	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9
Tx Crescimento	4,8%	3,9%	3,9%	4,2%	3,9%	4,4%	3,9%	3,9%
Médio Anual								

As taxas de crescimento da demanda após o nono período não são significativos, pois a capacidade demandada seria superior a carga do sistema, que será gerada por estes novos investimentos aqui estudados. Portanto caso haja aumento posterior a esse ano, serão necessários novos investimento para atendimento da demanda.

- **Preço final da tarifa de venda de energia da distribuidora** –A tarifa de energia das concessionárias é definida pelo governo através da RAP (Receita anual permitida), que se baseia na base de remuneração dos ativos da empresa, nos custos de operação e manutenção, levando em conta ainda a eficiência das empresas do setor.

Inicialmente a tarifa de energia em estudos da área era considerada como um parâmetro fixo ao longo dos períodos. De forma análoga ao estudo da variável demanda, foram considerados dados históricos e estudos de especialistas de planejamento, onde se verificou uma tendência estacionária da variável preço. Portanto, optou-se por modelar a variável através de uma distribuição normal com  $\mu = R\$182,39$  e  $\sigma = R\$14,40$ .

- **WACC** –O custo médio ponderado de capital é a taxa de retorno definida pela ANEEL de forma a remunerar o capital investido por empresas de distribuição, levando em consideração a composição da estrutura de capital, e os custos associados tanto ao capital próprio quanto ao de terceiros. Sendo estabelecido em cada ciclo de revisões, havendo uma tendência de manter o maior tempo possível inalterada para evitar questionamentos das distribuidoras que concluem o processo de revisão em momentos diferentes.

Durante a pesquisa foi realizada um estudo de previsão utilizando os programas ForecastPRO® e Crystal Ball®, considerando os dados históricos e a metodologia utilizados pela ANEEL durante o último ciclo de revisão. Como resultado a previsão para o WACC na próxima revisão é de 9,15% a.a., com um desvio padrão de 0,01%, o que é relativamente pequeno.

Tabela 4 – Custo Médio Ponderado de Capital ao longo do tempo

	WACC (a.a)
1º Ciclo 2003-2007	11,26%
2º Ciclo 2008-2012	9,98%
3º Ciclo 2013-2017	9,15%(*)

(\*) Previsão

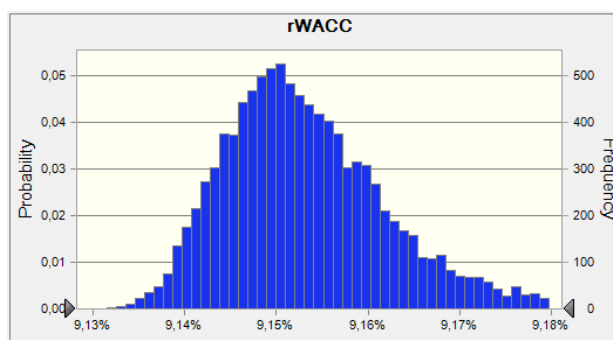


Figura2 – Função de distribuição de probabilidade na previsão WACC

Conclui-se que a inclusão do WACC como fonte de incerteza para o trabalho não é significativa, fato também considerado por Miranda (2005) em sua dissertação, conforme cita o autor: “Desta forma, o WACC da ANEEL possui pouca volatilidade e está mais relacionado não a um risco de mercado, mas a um risco regulatório. Portanto, a incerteza relacionada a esta taxa pode ser desprezada” [1].

Portanto através da análise das principais variáveis exógenas do projeto, foram selecionadas duas fontes principais de incerteza: demanda e preço, e a combinação dessas variáveis irá gerar a volatilidade do projeto.

No entanto, antes da inserção da incerteza destas variáveis no projeto, foi realizado um teste de correlação entre estas, passo essencial para uma efetiva modelagem das incertezas no projeto. Como esperado verificou-se que as variáveis são independentes e inelásticas, características atribuídas à sua essencialidade como insumo básico para todos os consumidores tanto industriais e comerciais, quanto residenciais. Esse resultado também foi obtido por Schmidt & Lima (2002), onde foram apurados valores que indicam a tendência à baixa elasticidade preço-demanda da energia elétrica no curto prazo.

Através das planilhas de fluxo de caixa descontado do projeto, foi possível realizar a simulação de Monte Carlo através do programa Crystal Ball®, considerando a abordagem consolidada da incerteza. Os resultados obtidos para a volatilidade pelos métodos Copeland e Antikarov (CA) e Herath e Park (HP) durante esta etapa podem ser vistos na tabela 5.

Tabela 5 – Volatilidade por alternativa

	<b>Alt. 1</b>	<b>Alt. 2</b>	<b>Alt. 3</b>	<b>Alt. 6</b>
<b>Método CA</b>	8,61%	7,73%	7,50%	7,98%
<b>Método HP</b>	12,22%	10,97%	10,64%	11,33%

Nota-se que as volatilidades variam de acordo com as alternativas e métodos. Essa questão será discutida mais adiante. Após a definição da volatilidade para cada alternativa de acordo com os métodos selecionados, o próximo passo para obtenção do valor da flexibilidade é a criação da árvore de eventos para cada alternativa.

Na construção da árvore de eventos são necessários as seguintes variáveis: Valor presente (VP) do ativo objeto, e os incrementos de subida e descida, obtidos através da volatilidade. O valor presente do ativo é o valor do projeto para empresa subtraído do preço de exercício, ou seja, dos investimentos necessários para a efetivação do projeto. Neste caso o VP do ativo objeto são os benefícios provenientes da implementação do projeto menos: os custos adicionais, de operação e manutenção, e impostos e taxas. A partir destas informações, foram elaboradas as árvores de eventos para cada alternativa de acordo com cada método. Essas árvores podem ser observadas em [7].

Tabela 6 – Entradas da árvore de eventos

	<b>Alt. 1</b>	<b>Alt. 2</b>	<b>Alt. 3</b>	<b>Alt. 6</b>
<b>VP Ativo Objeto*</b>	R\$ 29.691,38	R\$ 31.378,18	R\$ 30.409,40	R\$ 30.969,20
<b>up CA</b>	1,09	1,08	1,08	1,08
<b>down CA</b>	0,92	0,93	0,93	0,93
<b>up HP</b>	1,13	1,12	1,11	1,12
<b>down HP</b>	0,88	0,90	0,90	0,74

(\*) Valores em R\$1000

### 3.2.3 Etapa 3 – Incorporando a flexibilidade

A árvore de eventos fornece ao tomador de decisão a idéia de quais são as possibilidades futuras para o projeto em análise. Portanto nesta etapa é possível definir quais são as decisões ótimas a fim de maximizar o retorno do investimento, tendo em vista os valores observados em cada ramificação da árvore de eventos.

Conforme mencionado anteriormente, o investimento será realizado em três fases: curto, médio e longo prazo. Sendo que cada fase é diretamente ligada à anterior, ou seja, investir no curto prazo dá o direito de investir no médio prazo, e por consequência o investimento no médio prazo, dá o direito de investimento no longo prazo. Conclui-se a partir daí, que o investimento no longo prazo só poderá ser executado, caso os outros dois investimentos anteriores sejam executados até o limite de expiração da opção.

Tabela 7 – Investimentos do plano expansão

	<b>Alt. 1</b>	<b>Alt. 2</b>	<b>Alt. 3</b>	<b>Alt. 6</b>
<b>Investimento Curto-Prazo *</b>	R\$ 4.936,34	R\$ 7.268,02	R\$ 5.193,71	R\$ 5.625,54
<b>Investimento Médio-Prazo *</b>	R\$ 17.320,60	R\$ 13.776,65	R\$ 13.776,65	R\$ 15.742,83
<b>Investimento Longo-Prazo *</b>	R\$ 13.086,62	R\$ 16.887,55	R\$ 16.887,55	R\$ 16.887,55

(\*) Valores em R\$1000

O investimento de curto prazo pode ser realizado no ano 1 até o ano 2, da mesma forma o investimento de médio prazo pode ser realizado no ano 4 até o ano 5, e finalmente o investimento de longo prazo pode ser efetuado do ano 7 até o ano 9.

Tabela 8 – Dados construção da árvore

	Dados
Estágios da Arvoré =	9
Expiração (anos) =	9
Taxa Livre de Risco =	6%

A partir dessas restrições de investimentos, da árvore de eventos e dos dados apresentados na tabela 8, é aplicada a equação 1 de maximização do valor em cada ramo da árvore, com os valores do preço de exercício nos respectivos anos. Esse passo representa a tomada de decisão dos planejadores, que dessa maneira eliminam as situações de insucesso do projeto.

$$V_0 = \text{Max}(S_T - X; 0) \quad (1)$$

Eliminando as possibilidades do valor do projeto ser negativo, o decisor exerce o poder de tomada de decisão que já possui empiricamente, mas que até então não era mensurado. A operação de maximização do valor ramo a ramo é realizada de maneira backward, ou seja, de trás para frente. Isso ocorre porque a árvore de evento elucida todos os valores que o projeto pode assumir até o último período.

Durante cada fase de investimento (curto, médio e longo prazo) o algoritmo para construção da árvore de valor da opção de espera maximiza o valor do projeto. Essa operação é realizada de forma comparativa, ano a ano. Por exemplo, no investimento de longo prazo é realizada a maximização no último período, os valores desse ramo são trazidos para os anos anteriores por probabilidade neutra ao risco, e comparados com os valores obtidos caso os investimentos tivessem sido realizados nos respectivos anos. Dessa forma, define-se em qual ano o investimento deve ser implementado trazendo maior retorno.

O resultado da operação desse algoritmo são as árvores de valores da opção. Porém estas são pouco significativas para os decisores, em termos gráficos, no entanto podem ser traduzidas através das árvores de decisão que são apresentadas em [7].

Neste instante algumas considerações são importantes:

- Verifica-se que no último período a sinalização é para investimento na maioria das posições do ativo, esse fato se dá pela característica backward do cálculo. Como a primeira análise é feita a partir do último período, e o valor do ativo é bem maior que o investimento na última fase, quase todas as posições são favoráveis nesse período. Observa-se que no ano 5, data limite do investimento de médio prazo, existem mais posições que sinalizam o abandono do projeto, sendo que caso esse cenário ocorra, não haverá opção futura para investimento, uma vez que somente exercendo as duas primeiras opções o tomador de decisão terá a opção de longo prazo;
- Outra característica destas árvores de decisão são os investimentos ótimos, sempre realizados no ano de expiração, o que confirma de forma quantitativa uma decisão que geralmente é efetuada pelos gerentes: a opção de “esperar para ver”;
- A principal diferença demonstrada na árvore de decisão entre o método CA e HP é o indicativo de investimento no último período, que no caso de uma volatilidade maior apresenta maior chance de ter valor negativo;
- Na árvore onde os valores são sinalizados como zero, são os momentos em que o resultado de 1.899,97 será negativo.

#### 3.2.4 Etapa 4 – Tomada de decisão

Após os cálculos é possível obter um valor para a flexibilidade das alternativas, de acordo [10] o valor presente líquido (VPL) pode agregar a flexibilidade calculada por opções reais, gerando o VPL expandido da equação 2.

$$VPL_{\text{Expandido}} = VPL_{\text{Tradicional}} + \text{Flexibilidade Gerencial} \quad (2)$$

Verifica-se através da tabela 9 que a alternativa 3, que já se apresentou como mais vantagens em outros quesitos dos métodos tradicionais, apresenta novamente uma vantagem em relação as outras alternativas, por apresentar o segundo maior valor de flexibilidade método de CA. No entanto, pode-se verificar que o valor da flexibilidade para o método HP é menor para a mesma alternativa. Todavia uma característica que pode ser notada na tabela 9, é a

proximidade dos valores da flexibilidade das alternativas em cada método. Sendo que, os valores do método HP são maiores que os do método CA.

Tabela 9 – Valor da flexibilidade

	<b>Alt. 1</b>	<b>Alt. 2</b>	<b>Alt. 3</b>	<b>Alt. 6</b>
Valor Flexibilidade CA*	R\$ 1.507,66	R\$ 1.660,89	R\$ 1.666,10	R\$ 1.666,10
Valor Flexibilidade HP*	R\$ 1.904,72	R\$ 1.899,97	R\$ 1.845,45	R\$ 2.129,12
Diferença (%)	8,43%	4,76%	3,25%	8,69%

(\*) Valores em R\$1000

A tabela 10 apresenta o resultado do valor presente líquido com o valor da flexibilidade obtida pela teoria de opções reais, o maior interesse na obtenção desse valor ocorre quando há uma lista de projetos que deve ser aprovada baseando-se numa restrição orçamentária. Na formação do portfólio de projetos a empresa deverá considerar não só os métodos tradicionais de avaliação de desempenho, mas também o critério de flexibilidade que cada oportunidade trará à empresa, o valor estratégico do projeto.

Tabela 10 – Valor presente líquido com flexibilidade

	<b>Alt. 1</b>	<b>Alt. 2</b>	<b>Alt. 3</b>	<b>Alt. 6</b>
VPL sem Flexibilidade	R\$ 3.200,53	R\$ 3.363,43	R\$ 3.854,21	R\$ 2.522,31
Valor Flexibilidade CA*	R\$ 4.708,19	R\$ 5.024,33	R\$ 5.520,31	R\$ 4.279,69
Valor Flexibilidade HP*	R\$ 5.105,26	R\$ 5.263,40	R\$ 5.669,66	R\$ 4.651,43

(\*) Valores em R\$1000

Na tabela 10 comprova-se a importância do VPL tradicional. Pois, mesmo a alternativa 6 apresenta maior valor para flexibilidade, a alternativa 3 continua sendo a melhor opção de investimento, superando todas as outras alternativas.

### 3.3 Análise dos Parâmetros

Como já citado anteriormente, a volatilidade é a única variável adicionada às variáveis utilizadas pelos métodos tradicionais de avaliação para cálculo da flexibilidade por opções reais, porém é a variável que apresenta maior dificuldade em ser determinada, e a mais complexa no que tange os parâmetros de entrada [11].

Em Ross, Westerfield e Jaffe (2002) [12] afirma que há uma diferença fundamental entre aplicar a variabilidade numa opção envolvendo um ativo objeto e aplicar no próprio ativo objeto. Se os investidores tiverem aversão ao risco, um aumento de variabilidade do ativo objeto reduzirá seu valor de mercado. Entretanto, no caso das opções financeiras, o detentor da opção recebe resultados positivos em razão do aumento da volatilidade e da cauda positiva da distribuição de probabilidades.

Portanto, existe uma diferença básica em se considerar a volatilidade para opções reais e opções financeiras. Quanto maior a volatilidade, maior o valor da opção de compra ou de venda de ativos financeiros. Mas o mesmo não ocorre quando se trata de um ativo real, que deve possuir uma pequena margem de erro no planejamento.

De acordo com a tabela 5, a abordagem consolidada da incerteza pelo método HP apresenta valores significativamente superiores para volatilidade do que a mesma abordagem para o método de CA. Outra observação importante é que apesar das alternativas de investimento resultarem em um aumento de carga, suprimindo a mesma região de forma bastante similar, percebe-se que as alternativas apresentam volatilidades diferentes.

Pode-se então, afirmar que, de acordo com as características e incertezas presentes no setor, as alternativas que apresentem menor volatilidade são mais vantajosas. Uma vez que a contratação de energia e o suprimento de carga são fatores rigorosamente regulados pela ANEEL, e a contratação de energia ou o planejamento da capacidade de carga instalada superdimensionados oneram os custos, através de multas e penalidades.

A escolha por utilizar a abordagem consolidada da incerteza se justifica principalmente por sua maior frequência na literatura. Além de outros trabalhos também na área como [13]; e [14] que realizam uma completa explanação sobre o tema, citando sua demonstração anterior de tal teoria.

Segundo [15] tanto o método CA, quanto o método HP que também é utilizado por [16], estão errados, pois superestimam a volatilidade. De acordo com o autor, a ideia de CA em calcular a volatilidade em relação ao primeiro período não é válida uma vez que a volatilidade muda com o tempo e com o valor do projeto. Para resolver o problema de variação de volatilidade em relação ao tempo, podem ser calculadas volatilidades para cada período do projeto, mas se a volatilidade se alterar ao longo dos períodos em conjunto com o valor do projeto se tornaria inviável essa concepção. Outra questão é considerar essa equação em projetos onde os fluxos de caixa são negativos, ou o valor presente inicial é negativo.

Outra colocação de Godinho (2006) [15] é que o método HP superestima ainda mais o valor da volatilidade, simulando o VPL na data zero, uma vez que esse valor deveria ser o valor esperado do projeto. Para resolução do problema de cálculo da volatilidade o autor sugere passos de simulação, onde são considerados valores esperados para o valor do projeto, e não valores acontecidos. De acordo com esta metodologia, é efetuada uma simulação do primeiro ano com os dados obtidos até o momento, em seguida são realizadas simulações dos anos subsequentes, considerando o resultado da primeira simulação como dados de entrada e assim por diante.

Da mesma forma, [17] critica o uso da abordagem consolidada da incerteza pelo método de CA utilizada por [18] por assim superestimar a volatilidade. Em contrapartida [18] afirmam posteriormente que, podem utilizar arbitrariamente o desvio padrão do retorno do projeto no período 1, para especificar os parâmetros de volatilidade no processo estocástico apropriadamente, se os valores seguem um movimento geométrico browniano com volatilidade constante. Porém refazem os seus cálculos de acordo com as especificações de Smith (2005), onde são considerados os valores esperados condicionais, encontrando assim uma melhor estimativa da volatilidade.

Portanto o que se vê aqui através de trabalhos anteriores, é que ainda há dúvidas sobre qual o melhor abordagem para estimação da volatilidade. A nova proposta apresentada por [15], semelhante à também citada por [17] e calculada por [18] apresenta-se bastante viável para aplicação, porém ainda não muito difundida entre os autores mais recentes, que continuam a utilizar a abordagem consolidada da incerteza. Por este motivo foi escolhida a abordagem consolidada da incerteza pelo método de Copeland e Antikarov por superestimar menos a volatilidade em relação ao método de Herath e Park.

#### 4.0 - CONCLUSÃO

A partir da metodologia desenvolvida pode-se calcular o valor da flexibilidade em um caso do setor elétrico. Uma validação comparativa foi efetuada, demonstrando a viabilidade de aplicação desta metodologia. O principal resultado obtido ao final do processo de avaliação é a demonstração de que há valor da flexibilidade gerencial dentro do projeto, o que justifica a inserção da análise por opções reais como mais uma ferramenta de tomada de decisão em investimentos.

Este trabalho também apresenta dois métodos de cálculo da volatilidade em projeto do setor elétrico, e os compara, suprimindo uma lacuna da literatura da área. Fornece também as bases teóricas e práticas para o desenvolvimento de um aplicativo que tornasse mais amigável a interface dos usuários do sistema de planejamento da CEMIG, que não são familiarizados com as técnicas matemáticas aplicadas na TOR.

Um dos produtos desta pesquisa é um software que funciona como ferramenta complementar de auxílio à decisão, onde podem ser analisados tanto os critérios de desempenho das métricas tradicionais, como o valor das opções reais e a árvore de decisão por opções. Porém com um manuseio simplificado.

Os investimentos poderão ser avaliados com maiores informações a respeito do risco envolvido reduzindo erros de avaliação.

#### 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MIRANDA FILHO, J. Investimento em distribuição utilizando opções reais. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Itajubá - Unifei. Itajubá – Brasil. 160p. 2005;
- [2] RAMANATHAN, B.; VARADAN, S. Analysis of transmission investments using real options. Power Systems Conference and Exposition, 2006. PSCE '06. 8p. IEEE PES Oct. 29, 2006;
- [3] MARANGON LIMA, J. W.; CAMINHA NORONHA, J. C.; SANTOS, P. E. S.; DOMINGOS SÉ, F. E.; MARANGON, L. M.; MIRANDA FILHO, J. Análise de Investimentos em Distribuição considerando o Ambiente Regulatório e utilizando a Teoria de Opções Reais. XVII SENDI - Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, Belo Horizonte, 14p. 2006;
- [4] PINTO, L.; DIAS, B.; SZCZUPAK, J.; MAIA, R.; TSUNECHIRO, L. A novel risk management model based on

- the real options concept. Power Tech, 2007, 6p. IEEE Lausanne 1-5, July 2007;
- [5] SALAZAR, H.; LIU, C. C.; CHU, R. F. Decision analysis of merchant transmission investment by perpetual options theory. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 22, NO. 3, 8p. August 2007;
- [6] VASQUEZ, P.; OLSINA, F. Valuing flexibility of DG investments in transmission expansion planning. Power Tech, 2007, 6p. IEEE Lausanne 1-5 July 2007;
- [7] BRANDÃO, M. C. Análise dos parâmetros que influenciam a obtenção do valor da flexibilidade por opções reais no setor elétrico. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Itajubá - Unifei. Itajubá – Brasil. 99p. 2010;
- [8] COPELAND, T. E., ANTIKAROV, V. Opções Reais: Um Novo Paradigma para Reinventar a Avaliação de Investimentos. Rio de Janeiro: Campus, 2001;
- [9] HERATH, H. S. B.; PARK, C. S. Multi-stage capital investment opportunities as compound real options. The Engineering Economist v. 47 n.1, 2002;
- [10] MINARDI, A. M. A. F. Teoria de Opções Reais Aplicada a Projetos de Investimentos, RAE Revista de Administração de Empresas /EAESP/FGV, São Paulo, v. 40, n. 2, Abr./Jun., p.74-79, 2000;
- [11] ESCHENBACH, T.; LEWIS, N.; HENRIE, M.; BAKER, E.; HARTMAN, J. C. Real Options and real engineering projects. Engineering Management Journal, v.19 n.4, p.11-19, December 2007;
- [12] ROSS, S., WESTERFIELD, R. W. & JAFFE, J. F. Administração Financeira – Corporate Finance. Editora Atlas, São Paulo, 2ª Edição, 2002;
- [13] BRANDÃO, L. E.; DYER, J. S.; HAHN, W. J. Using binomial decision trees to solve real-option valuation problems. Decision Analysis, v.2 n.2, pp. 69-88, June 2005;
- [14] MILLER, L. T.; PARK, C. S. Decision making under uncertainty – Real options to the rescue? The Engineering Economist v. 47 n.2, 2002;
- [15] GODINHO, P. M. C. Monte Carlo estimation of project volatility for real options analysis. GEMF - Faculdade de Economia, Universidade de Coimbra. 2006;
- [16] COBB, B. R.; CHARNES, J. M. Real options volatility estimation with correlated inputs. The Engineering Economist v. 49 119-137, 2004;
- [17] SMITH, J. E.; Alternative approaches for solving real-options problems. Decision Analysis, v.2 n.2, pp. 89-102, June 2005;
- [18] BRANDÃO, L. E.; DYER, J. S.; HAHN, W. J. Response to Comments on Brandão et al. (2005). Decision Analysis, v.2 n.2, pp. 103-109, June 2005.

## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Valério Oscar de Albuquerque. Nascido em 1963 em Urucânia, MG, possui graduação em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC - MG) em 1989, especialização no Curso de Especialização de Sistema Elétrico - CESE pela Universidade Federal de Itajubá (Unifei) em 1996 e mestrado em Engenharia Elétrica pela Unifei em 2002. Atualmente é Engenheiro de Planejamento Elétrico da Distribuição de Alta Tensão da CEMIG Distribuição S.A. e aluno de doutorado em Engenharia Elétrica na Unifei.



Marina Carvalho Brandão. Nascida em 1984 em Vitória da Conquista, BA. Possui graduação em Engenharia de Produção Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá (2006), mestrado em Engenharia de Produção Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá (2010). Atualmente é Consultora Financeira da Net Serviços de Comunicação. Tem experiência em avaliação de investimentos de infraestrutura de comunicação e energia, atualmente realiza análises de viabilidade de produtos e modelos de negócio.



Edson de Oliveira Pamplona. Nascido em 1957 em Itajubá, MG. Possui doutorado em Administração de Empresas pela Fundação Getúlio Vargas - SP, mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas pela Universidade Federal de Santa Catarina, graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá e graduação em Economia pela Faculdade de Ciências Econômicas do Sul de Minas. Atualmente é professor titular da Universidade Federal de Itajubá, consultor da Fundação de Pesquisa e Assessoramento a Indústria e coordenador do MBA Unifei.



José Arnaldo Barra Montevechi. Nascido em 1961 em Varginha, MG. Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá (1985), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1989), doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo (1995) e pós doutorado na Universidade do Texas nos Estados Unidos (2008). Atualmente é professor titular da Universidade Federal de Itajubá. Tem experiência na área de Engenharia de Produção, com ênfase em Simulação, atuando principalmente nos seguintes temas: engenharia econômica, simulação a eventos discretos, otimização, simulação de Monte Carlo e pesquisa operacional.