

5 Aplicação ao Caso de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH)

5.1 Introdução

O potencial de geração hidrelétrica do país é de aproximadamente 260 GW, dos quais apenas 25% estão sendo utilizados e desse total, apenas 1,35% é explorado através de PCH's.

Dessa maneira, as PCH's se apresentam como uma solução de curto prazo para o incremento na capacidade de geração instalada no país. Isso se deve a características como menor cronograma de instalação e início de operação, facilidade de localização próximas aos centros de carga e maior facilidade quanto a exigências legais/regulatórias. Estima-se que mais de 260 MW serão instalados em 2007.

Como será mostrado neste capítulo, a possibilidade de atuar em ambos mercados de energia (spot e longo prazo) é uma flexibilidade operacional que pode ser aproveitada pelos investidores. A operação, por exemplo, pode ser iniciada apenas com contratos de longo prazo e acabar gerando receitas abaixo do esperado. Sendo assim os administradores do projeto podem optar a passar a operar também no curto prazo (spot) para obter um incremento de receita. A presença dessa flexibilidade faz com que a análise pelo método do Fluxo de Caixa Descontado tradicional leve o investidor a subestimar o real valor do empreendimento.

5.2 Premissas

Para o processo de avaliação proposto neste capítulo, algumas premissas sobre a operação da PCH deverão ser feitas.

Com a implantação de diversas ferramentas para diminuição do risco de novos racionamentos de energia, estaremos considerando que a PCH não sofrerá nenhuma perda na sua capacidade total de produção e que sempre terá sua produção de energia constante. Também não estaremos considerando nenhuma

necessidade de investimento em capital de giro ou reinvestimento em imobilizado durante a vida útil do projeto.

Adotamos essas premissas pois o intuito da dissertação não está voltado para a quantificação do valor ótimo de uma PCH, mas sim, para exemplificar que a utilização da teoria de opções reais para a avaliação desse tipo de projeto pode gerar um valor superior à avaliação pelo método estático de fluxo de caixa descontado.

5.3 Modelo Financeiro

O projeto reflete as características mais comuns de empreendimentos em Pequenas Centrais Hidrelétricas. Na tabela 4 seguem os principais parâmetros adotados para o processo de avaliação:

Premissas	Valores
Potência Instalada	30 MW
Custo do Investimento	138 R\$MM
Geração Total de Energia Ano	263 GWh
Custo de Geração	10 R\$/MWh
Preço do Contrato Bilateral	120 R\$/MWh
Taxa de Desconto (Wacc)	10%
Taxa Livre de Risco	4,5%
Vida Útil da PCH	20 Anos

Tabela 4 – Parâmetros adotados para a avaliação da PCH

5.3.1 Potência Instalada

A potência instalada representa a capacidade operativa de geração de energia hidrelétrica. Conforme apontado no item 3.3, as PCH's podem possuir potência instalada entre 1 e 30 MW. Para darmos maior representatividade nos números apurados, estaremos arbitrando uma PCH na região Nordeste com potência instalada de 30 MW.

5.3.2 Custo do Investimento

O custo de investimento da PCH está dentro dos padrões de investimento em PCH no Brasil, conforme estudo do Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul (BRDE,2002). O custo de investimento para cada unidade de capacidade instalada (Watts) deve ser de até US\$ 2 MM. Com os dados da Tabela 4 usados nesta avaliação, o valor do custo de investimento pela capacidade instalada é R\$MM/MW 4,6 , se a taxa de câmbio for 2,30. Sendo assim o total investido será de R\$ 138 MM realizados durante os 2 primeiros anos do projeto.

5.3.3 Geração Total de Energia

Considerando a capacidade instalada de 30 MW, por simplificação conforme citado nas suposições da análise, consideramos que não teremos nenhuma perda de capacidade e que não teremos nenhuma variação na demanda gerada total de energia. Sendo assim, considerando que temos uma média de 8.760 horas por ano, podemos inferir que teremos uma geração total de 262.800 MWh ou 263 GWh, sendo que a produção só iniciará após os dois primeiros anos do projeto (período de construção da PCH).

5.3.4 Custo de Geração

Pelo fato da geração ser hidrelétrica e devido ao pequeno porte e simplicidade de operação de uma PCH, o custo de geração de energia envolve basicamente custos de manutenção dos equipamentos e despesa da pequena equipe de pessoal. Considerando o estudo do BRDE (2002), estamos utilizando o custo unitário de R\$/MWh 10.

5.3.5 Preço de venda da Energia

O preço spot de eletricidade, dado pelo Custo Marginal de Operação (CMO), é o principal componente de incerteza do mercado de energia elétrica brasileiro. Como as receitas de uma geradora de energia dependem desta variável,

ela deve estar corretamente representada no problema de avaliação de um projeto de investimentos.

- **Preço de Energia Contratos de Longo prazo**

Como preço inicial da energia para os contratos de longo prazo, tomamos como base o valor do Primeiro Leilão de Compra de Energia Elétrica Proveniente de Novos Empreendimentos de Geração (CCEE, 2005). Esse leilão realizado em Dezembro de 2005 pela CCEE, foi para a definição de preços para contratos de venda de energia de longo prazo. Por ser um contrato de longo prazo e livremente negociado no mercado, estaremos utilizando o preço médio do leilão como valor do contrato bilateral para a análise. Sendo assim, o preço base do contrato bilateral que estaremos utilizando na projeção será de R\$/MWh 120.

Como os preços dos contratos de longo prazo, de uma maneira geral, sofrem apenas a variação pela inflação e levando-se em conta que estaremos realizando a avaliação do projeto em moeda real, estaremos considerando que o preço da energia nos contratos de longo prazo será constante em R\$/MWh 120 para todo o horizonte do projeto.

- **Preço de Energia Contratos de Curto Prazo (Mercado Spot)**

De uma maneira geral, o valor inicial dos contratos de energia de longo prazo acabam por refletir o atual valor do mercado de curto prazo (spot), salvo algumas inconsistências de mercado como por exemplo no período de racionamento de energia. Porém como não estamos considerando na projeção futuras anomalias para o mercado de energia, tomamos também como base o valor do primeiro leilão de energia (CCEE,2005) de R\$/MWh 120.

Para a avaliação do projeto, estaremos estimando os preços futuros do mercado de curto prazo. Uma opção para isso, seria utilizarmos o próprio sistema NEWAVE de determinação do preço spot para a geração das séries futuras. Porém o sistema fornece apenas o horizonte de projeção de 5 anos, o que representaria apenas 25% do período à ser analisado, levando-se em conta a vida útil de 20 anos.

Sendo assim e dada à incerteza a respeito dos preços futuros de energia no mercado spot, para a modelagem desta variável ao longo de todo o período do projeto, consideramos que o preço, varia estocasticamente no tempo, seguindo um Movimento Geométrico Browniano (MGB). Esta modelagem implica que o preço nunca poderá ser negativo e que a sua volatilidade é constante no tempo, e é representado pela seguinte forma:

$$dP = \alpha P dt + \sigma_p P dz \quad \text{Equação 5.1}$$

onde:

dP é a variação incremental do preço no intervalo de tempo dt ,

α é a taxa de crescimento do preço no intervalo de tempo dt ,

σ_p é a volatilidade do preço da energia; e

$d_z = \varepsilon \sqrt{dt}$, onde $\varepsilon \sim N(0,1)$ é um processo de Wiener padrão.

A discretização deste processo, utilizando períodos anuais, nos fornece o preço em cada ano, em função do valor do ano interior:

$$P_{t+1} = P_t \left[1 + (\alpha_t + \sigma_p) \Delta t + \sigma_p \varepsilon \sqrt{\Delta t} \right] \quad \text{Equação 5.2}$$

5.3.6 Taxa de Desconto e Taxa Livre de Risco

É a taxa utilizada para descontar os fluxos de caixa futuros do projeto. Normalmente esta taxa reflete a expectativa do investidor em relação aos riscos assumidos com o projeto.

Conforme proposto pelo estudo do BRDE (2002), estaremos utilizando a taxa real de 10% como sendo uma taxa de retorno apropriada para atividades de geração de energia elétrica no sistema brasileiro (15% nominal convertida para real considerando uma projeção de inflação de 4,5%). Consideramos também a taxa de livre de risco que será considerada para a análise será de 4,5%.

5.3.7 Vida Útil

É o horizonte máximo de tempo de capacidade operativa da usina. Conforme proposto pelo estudo do BRDE (2002), adotamos uma vida útil de 20 anos como sendo o tempo máximo de operação da PCH. Estaremos considerando também que ao final do projeto, a PCH não terá nenhum valor residual.

5.4 Modelagem Financeira

Com base nos principais parâmetros de projeção definidos, o modelo de fluxo de caixa em moeda real adotado e premissas secundárias para toda análise são apresentadas na tabela 5:

Especificações	Observações
Receita Bruta	Receita bruta anual de venda de energia - Preço unitário X Geração Total de Energia
- Tributos sobre venda de energia	Cofins/Pis totalizando uma alíquota de 9,25%
= Receita Líquida	Receita Bruta - Tributos
- Custo de Geração	Despesas Administrativas / Operacionais - 10 R\$/MWh X Geração Total de Energia
- Encargos Setoriais	TFSEE/TUSD/Compensação Financeira - totalizam a média de 6% da Receita Bruta
- Depreciação	Depreciação linear dos investimentos em 20 anos - 6,9 R\$MM ano
= LAJIR	Lucro antes de juros e imposto de renda
- IR	Imposto de Renda e Contribuição Social - 34% sobre o lucro tributável
+ Depreciação	Depreciação linear dos investimentos em 20 anos - 6,9 R\$MM ano
= Fluxo de Caixa Livre	Fluxo financeiro disponível para os credores da empresa

Tabela 5 - Fluxo de caixa Projetado

Dessa forma, podemos expressar o modelo de fluxo de caixa como:

$$C_t = R_t(1 - T_i) - C_i - (R_t * E) - \{(R_t(1 - T_i) - C_i - (R_t * E) - D) * Td\}$$

Onde:

R_t : Receita Bruta período t

T_i : Tributos indiretos sobre a venda de energia

C_i : Custos Operacionais período t

E : Encargos setoriais

D : Depreciação linear do investimento em 20 anos; e

Td : Tributos diretos sobre o lucro tributável (IR/CSSL)

5.5 Flexibilidade Gerencial do Projeto: Opções Reais

Ao contrário de projetos de extração mineral como petróleo, cobre, etc., ou mesmo projetos onde a empresa detém opção de investimento com longo prazo de exercício, uma Pequena Central Hidrelétrica exige que o concessionário inicie os seus investimentos de imediato após a certificação do regulador, dado que toda a projeção da ONS para verificação de risco de racionamento de energia (demanda > oferta) estará contemplando a produção gerada pelo projeto. Não existe, portanto, nenhuma flexibilidade quanto à possibilidade de se adiar o investimento necessário. Por outro lado, podemos definir outra opção relevante para este projeto: a opção de contratar a receita, ou seja, operar com contratos de curto (spot) e ou de longo prazo (bilaterais de longo prazo) para a venda da energia produzida.

5.5.1 Opção de Contratar

Conforme verificado no item 3.5, uma PCH possui flexibilidade para a venda de sua energia produzida, onde pode atuar basicamente através de contratos de longo prazo (inflexível) e ou contratos de curto prazo – spot (flexível). Verificamos também no item 3.6, que o preço no mercado de curto prazo é extremamente volátil e que o mercado de longo prazo, seja através de contratos de PPA's ou pelo PROINFA, praticamente não possui volatilidade, visto que os preços são pré-estabelecidos para os períodos futuros e, de maneira geral, sofrem apenas correção pela inflação.

Sendo assim, uma PCH que esteja atuando no mercado spot e que este esteja com preços menos atrativos que uma PPA de cinco anos, esta poderá contratar toda sua produção no mercado de longo prazo e gerar maior receita com esta nova contratação. Da mesma maneira, caso a PCH esteja atuando através de uma PPA de cinco anos com vencimento hoje e que esta esteja com o preço inferior ao mercado spot, a PCH poderá passar a contratar toda sua produção no mercado spot e também obter melhores resultados financeiros com esta decisão.

Consideramos então que a flexibilidade de atuação no mercado de curto (spot) e ou de longo prazo (através de PPA), será uma opção de contratação que

poderá ser exercida no estudo realizado. A escolha de atuação no mercado será de contratação da venda através do spot (mercado de curto prazo) ou através de PPA's de cinco anos (mercado de longo prazo). Escolhemos o instrumento de PPA e o período de contrato de 5 anos para o mercado de longo prazo tomando como premissa o Primeiro Leilão de Compra de Energia Elétrica Proveniente de Novos Empreendimentos de Geração (CCEE, 2005), pois este representa o principal mecanismo de negociação de energia de longo prazo, e no prazo médio de contratos bilaterais efetivamente praticados entre os operadores.

No estudo de caso, consideramos então, que será tomada a escolha de atuação no mercado (decisão) em 4 períodos durante o projeto: ano 0 (inicial), ano 5, ano 10 e ano 15. A primeira decisão será tomada no início do projeto (ano 0), e as próximas decisões de escolha de mercado para venda de energia, terão um intervalo de 5 anos em virtude do período de contratação dos contratos de longo prazo e por estarmos considerando a premissa de que os contratos não serão quebrados. Na tabela 6 podemos ver um resumo da opção de contratação:

Opção de Contratação	
Opção 1:	Ano 0 (início do projeto)
Opção 2:	Ano 5
Opção 3:	Ano 10
Opção 4:	Ano 15
Prazo de Expiração:	Imediato
Benefício:	Fluxo de caixa de acordo com o preço da energia do mercado escolhido (LP ou Spot)

Tabela 6 - Opção de Contratação da PCH

A escolha ótima a cada decisão é tomada comparando-se o valor de continuação no mercado Spot com o valor de contratação de Longo Prazo:

Max {Valor de continuação mercado Spot, Valor mercado de Longo Prazo}

$$\max\{VS_t, VLP_t\}$$

onde:

VS_t : Valor de continuação da contratação Spot no período t

VLP_t : Valor da contratação Longo Prazo no período t

5.6 Solução

A modelagem deste projeto através dos modelos tradicionais de tempo contínuo tem formulação matemática complexa devido às suas características, que são comuns a este tipo de projetos. Essas características são a fonte de incerteza estocástica, o tempo finito da concessão (20 anos) e a existência de opções múltiplas ao longo de sua vida útil. Na modelagem proposta veremos que estas questões podem ser resolvidas sem maiores problemas pelo modelo em tempo discreto, sem ter que recorrer a simplificações exageradas na modelagem do problema.

5.6.1 Modelagem Determinística: FCD sem Opções

Foi considerado inicialmente apenas o projeto em condições de certeza, ou seja, a PCH com atuação por contratos de longo prazo (PPA's), para efeito da montagem do cenário básico sem a inclusão de nenhum tipo de opção de flexibilidade gerencial. Foi adotada a taxa de desconto (WACC) de 10%, e computado o valor presente do projeto através do método do Fluxo de Caixa Descontado (FCD) tradicional utilizando uma planilha, conforme dados do item 5.3. O valor encontrado foi de R\$ 128,4 milhões. Dado que o valor presente dos investimentos líquidos é de R\$ 119,8 milhões, o Valor Presente Líquido (VPL) do projeto é positivo em R\$ 8,7 milhões (anexo 2).

Vale ressaltar que a avaliação abrange apenas a vida útil tradicional da PCH de 20 anos, pois como o ativo está relacionado a uma concessão de exploração de também 20 anos, é possível que a mesma não seja renovada. Sendo assim, não estamos considerando nenhum valor terminal para o projeto e que o valor do projeto está compreendido dentro da sua vida útil tradicional.

Seguindo Copeland & Antikarov, o valor do projeto de R\$ 128,4 será tomado como o valor de mercado do projeto, o que nos permitirá considerar o mercado completo e utilizar probabilidades neutras a risco para descontar o fluxo de caixa do projeto à taxa livre de risco. Para tanto, precisamos apenas determinar a volatilidade do projeto para que o portfólio replicante e as probabilidades

neutras a risco possam ser determinados. Isso é feito através da modelagem da incerteza de mercado do projeto.

5.6.2 Determinação da Volatilidade do Projeto

Dado que não utilizaremos nenhuma taxa de desconto exógena, nem adotaremos premissas a respeito do comportamento estocástico dos retornos do projeto em relação a um portfólio replicante qualquer, a volatilidade do projeto será determinada através de Simulação de Monte Carlo das variáveis de risco de mercado existentes no projeto. Uma vez determinado o valor de mercado do projeto, definimos em seguida o processo estocástico de sua incerteza de mercado, que no caso é o preço no mercado spot. Essa incerteza contribui para a incerteza de mercado sobre o valor do projeto. Fazendo uma Simulação de Monte Carlo, e considerando os parâmetros e a distribuição estocástica previamente determinada para a variável, a cada iteração obtemos um novo conjunto de projeções para a variável estocástica do modelo, e conseqüentemente, para o Fluxo de Caixa, para o Valor Presente e para a taxa de retorno do projeto. A variável estocástica taxa de retorno é definida como:

$$Z = \frac{V_1}{V_0} - 1$$

onde V_0 é o Valor Presente do projeto obtido no cenário determinístico, V_1 é a variável estocástica do valor do projeto daqui a um ano, que incorpora o fluxo de caixa C_1 do projeto no ano 1. A partir dessa Simulação de Monte Carlo, com um número de iterações suficientes, podemos obter a volatilidade do projeto que será o desvio padrão anualizado da sua taxa de retorno Z . Podemos verificar que a inclusão de mais fontes de incerteza na modelagem de risco do projeto é trivial, uma vez determinado o parâmetro estocástico da variável. Foram feitas três simulações com 50.000 iterações cada, cujos resultados estão apresentados a seguir.

Simulação Nº	Retorno (Z)	Volatilidade (σ)
1	0,1000	0,6998
2	0,1000	0,6997
3	0,1000	0,6998

Tabela 7: Resultados da Simulação de Monte Carlo

Os resultados da simulação apresentados na Tabela 7 indicam que a volatilidade do projeto é de cerca de $\sigma = 0.70$. Demonstrando que a volatilidade do projeto é um pouco superior a volatilidade anual do mercado Spot de $0,19 * \sqrt{12} = 0,66$. Por conservadorismo consideramos a volatilidade do submercado nordeste como volatilidade do mercado Spot, conforme tabela 3.

5.6.3 Determinação do Risco do Projeto

Conforme verificado por Hull (2003), dado que o projeto analisado, ou mesmo a origem das receitas do projeto não são de um ativo de mercado, não é possível observarmos diretamente o seu prêmio de risco.

Assumindo uma taxa livre de risco de 4,5% aa, o prêmio de risco dos fluxos de caixa é dado por $\mu - r = \beta_c (E[R_m] - r) = 5,5\%$, e pela equação (4.3) obtemos

$$\lambda = 0,055 \frac{0,66}{0,70} = 5,2\%.$$

5.6.4 Árvore do Projeto

Tendo determinado o Valor Presente do projeto, sua volatilidade e seu prêmio de risco, podemos modelar a distribuição estocástica do projeto como um Movimento Geométrico Browniano (MGB) através de um modelo binomial. Essa modelagem é semelhante ao de uma ação que paga uma taxa de dividendos que é constante em cada estado de um mesmo período, mas que pode variar de um período para outro, conforme solução proposta por Copeland & Antikarov (2002). No entanto, além de ser trabalhoso, este método apresenta o inconveniente de não ser intuitivo, pois trabalha com o Valor Presente do projeto em cada período ao invés do fluxo de caixa como é de costume, e principalmente, não permite a inclusão das opções de flexibilidade diretamente no modelo.

Neste trabalho propomos um método alternativo que utiliza uma árvore de decisão com um modelo binomial para modelar o valor do projeto em função dos seus fluxos de caixa estocásticos, de tal forma que o valor do projeto siga um MGB com os parâmetros predeterminados. Esse método tem a vantagem de ser de aplicação bem mais simples e pode ser utilizado em softwares de árvores de

decisão, o que permite a modelagem das opções de flexibilidade diretamente no modelo. Além disso, ao contrário dos valores presentes, os fluxos de caixa em cada ano mantêm uma relação linear com os inputs do projeto, facilitando a análise e modelagem das opções.

Dadas as dimensões da árvore de decisão final do projeto, a sua elaboração manual e mesmo visualização por inteiro se tornam impossíveis, uma vez que a sua complexidade cresce exponencialmente com o número de períodos. Uma representação simplificada utilizada é mostrada no modelo de árvore do projeto da Figura 13, onde cada nó de incerteza indica que esta incerteza ocorre em cada um dos estados do período anterior.

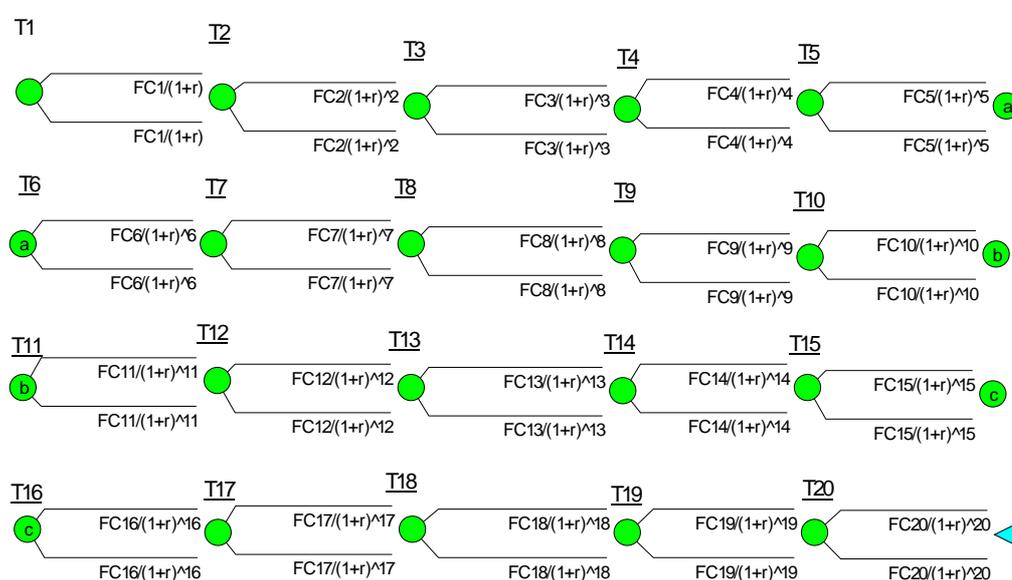


Figura 13 – Modelo Binomial do Projeto

Este modelo gera uma Árvore de Decisão com todas as ramificações que representam o processo estocástico do Valor do Projeto, sendo que o número de estados finais é de 2^{20} . A árvore de decisão correspondente está apresentada na Figura 14, onde são mostrados apenas os quatro primeiros períodos. Utilizando-se probabilidades neutras a risco, obtém-se um resultado de $V_2 = \text{R\$ } 155,4$ milhões, sendo $V_0 = \text{R\$ } 128,4$ milhões idêntico ao da planilha com o fluxo determinístico do projeto (fluxos de caixa a partir do ano 2 e descontados ao Wacc de 10%). Foi considerado que a taxa livre de risco é de 4,5% a.a.

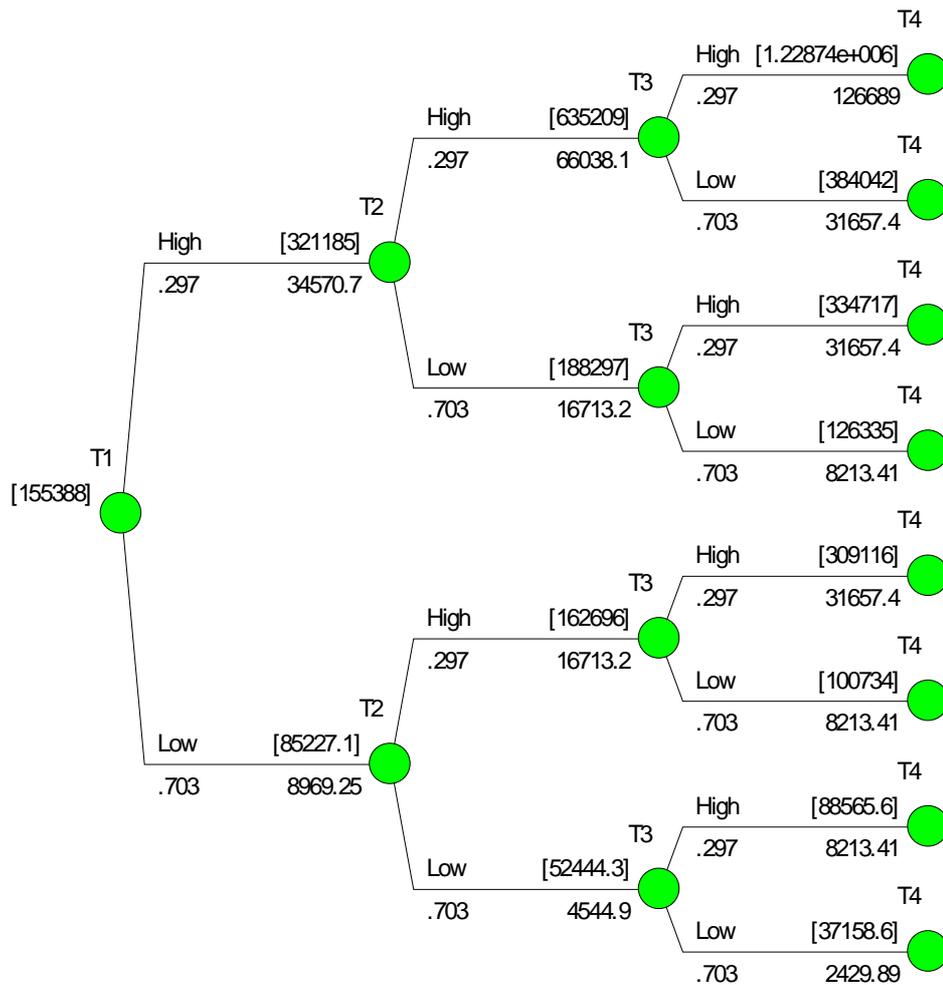


Figura 14 – Árvore de Decisão do Projeto

5.6.5 Opção de Contratação

Conforme comentado no item 5.5.1, incorporamos quatro opções de contratação para o projeto nos anos 0, 5, 10 e 15 (Figura 15), representando oportunidades para trocar os contratos de venda de energia, seja para operar através de contratos de Longo Prazo (PPA's) ou operar por contratos de Curto Prazo (Spot).

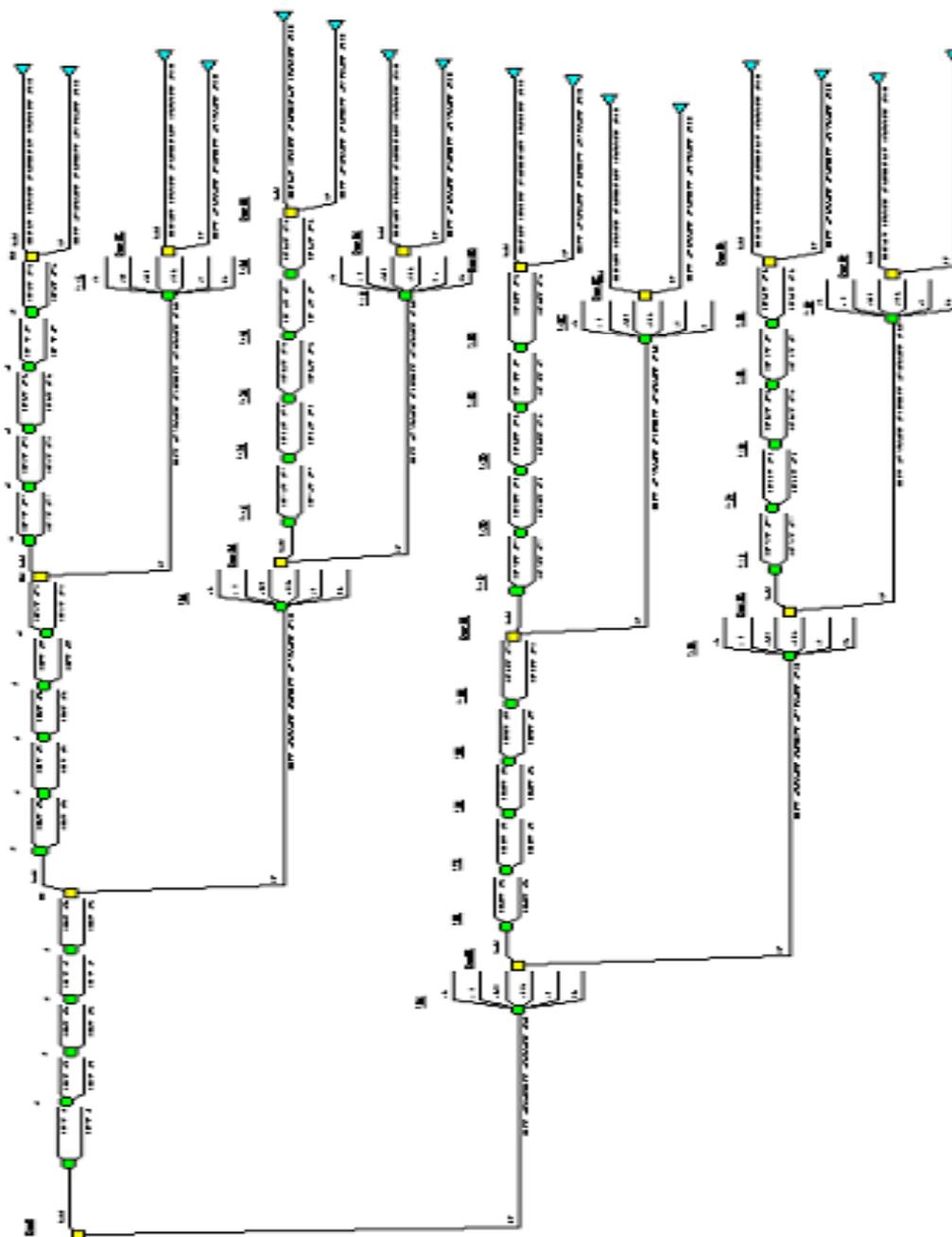


Figura 15 – Árvore de decisão com opção de contratação nos anos 0, 5, 10 e 15

A primeira decisão ocorre no início do projeto (ano 0), onde estaremos definindo a atuação no Spot ou por contratos de Longo Prazo, ou seja, a árvore estará sendo particionada em duas (dois caminhos). Para a decisão do ano 5, cada

caminho também será particionado novamente em mais dois caminhos e assim sucessivamente. Dessa maneira a árvore acabará com dezesseis caminhos possíveis definidos através de quinze “nós” de decisão (representando as quatro opções de contratação).

A análise mostra que o valor do projeto aumenta de R\$ 128,4 milhões para R\$ 173,5 milhões (R\$ 209,9 milhões no ano 2 descontados ao WACC de 10%) com a presença da opção de contratar (Figura 16), onde podemos ver os primeiros quatro períodos da árvore de decisão.

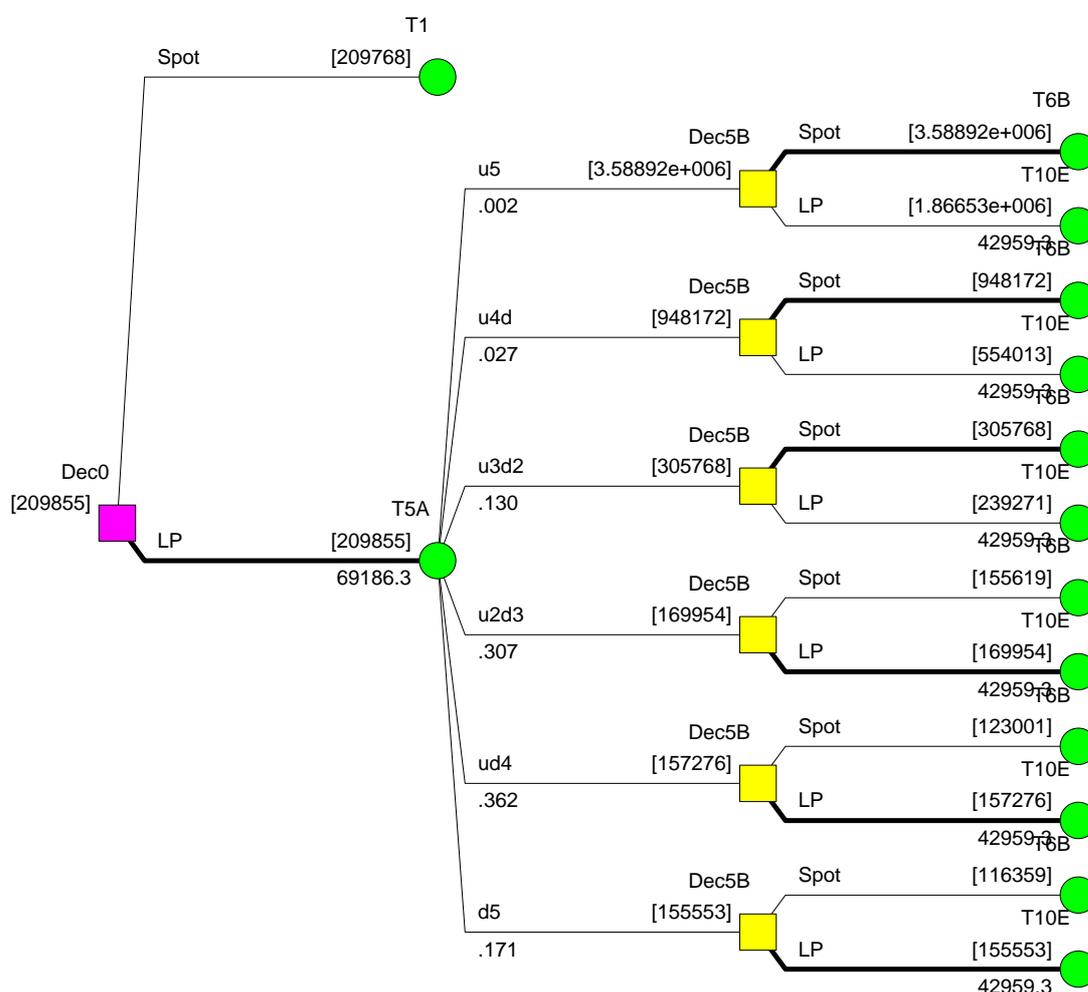


Figura 16 – Valor do Projeto com a Opção de Contratar

A política ótima de investimentos é mostrada na Figura 17. Podemos ver que 85% das vezes será ótimo aproveitar a oportunidades de contratação de Longo Prazo.

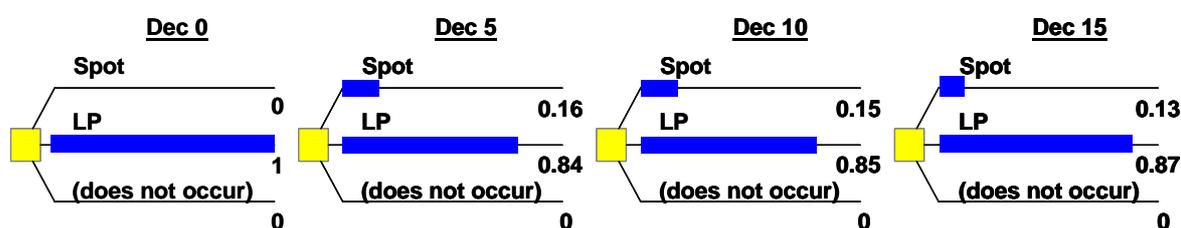


Figura 17 – Política Ótima de Investimentos

Foi realizado um estudo de sensibilidade do projeto a volatilidade do preço spot (Figura 18). As mudanças de cores indicam a fronteira onde ocorre uma alteração na estratégia ótima da empresa. Os resultados indicam que o valor do projeto aumenta com a volatilidade do preço spot, o que era de se esperar.

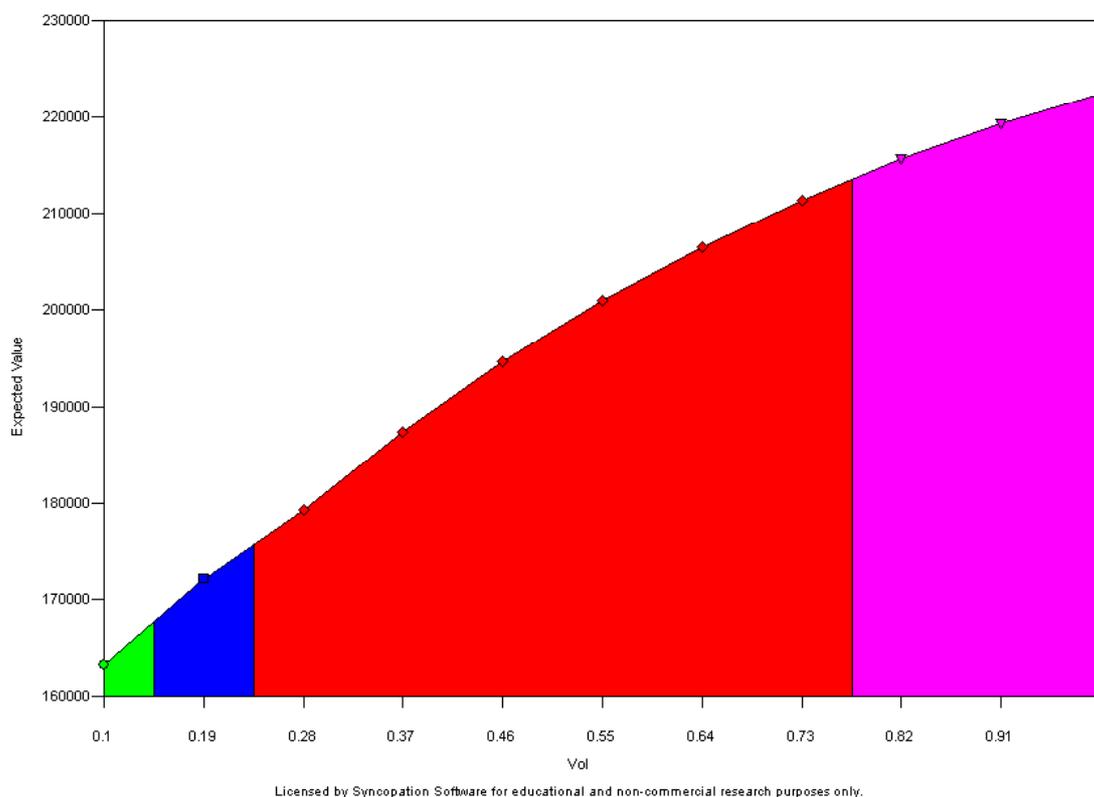


Figura 18– Valor do Projeto: Sensibilidade a volatilidade do preço spot

Foi analisada também a sensibilidade do projeto ao preço inicial do mercado spot de energia (Figura 19). Os resultados também indicam que o valor do projeto aumenta com a volatilidade do preço inicial spot.

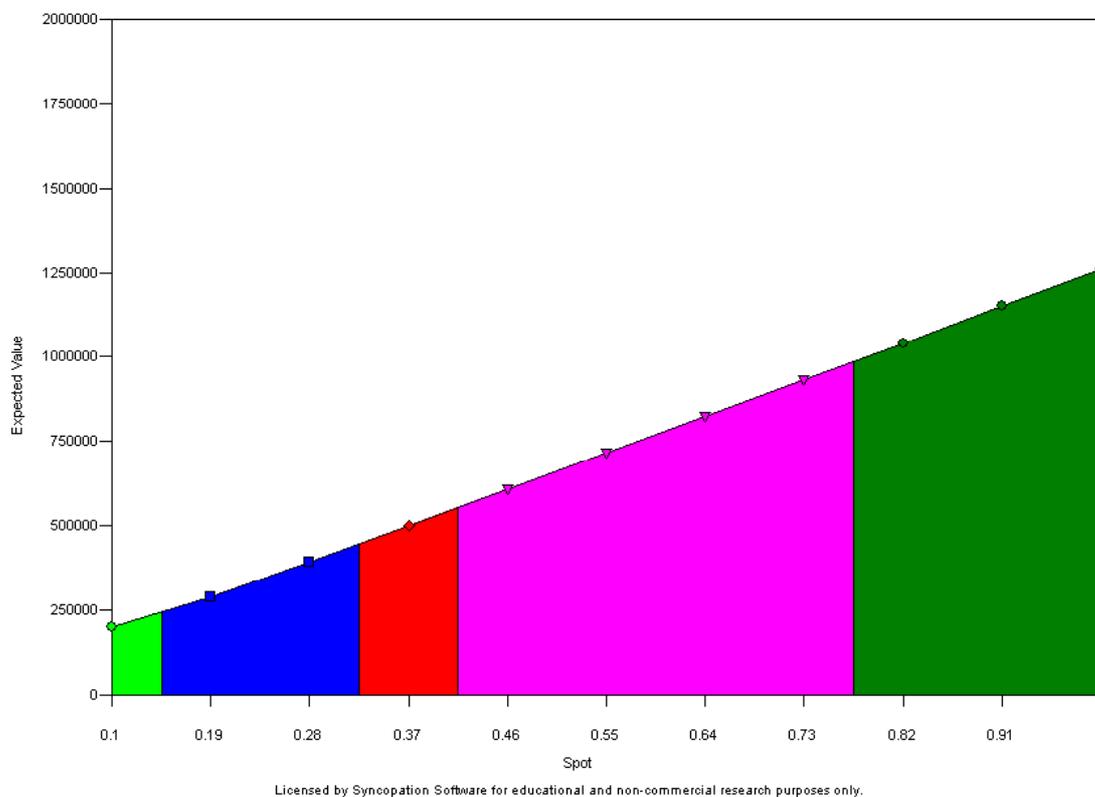


Figura 19 – Valor do Projeto: Sensibilidade ao preço inicial spot

Realizamos também uma análise para identificar a variável (preço inicial spot ou volatilidade do preço) de maior impacto sobre o valor do projeto (Figura 20). Considerando uma variância de 50% sobre o valor original de cada variável, podemos verificar que o valor do projeto é mais sensível ao preço inicial spot que a volatilidade.

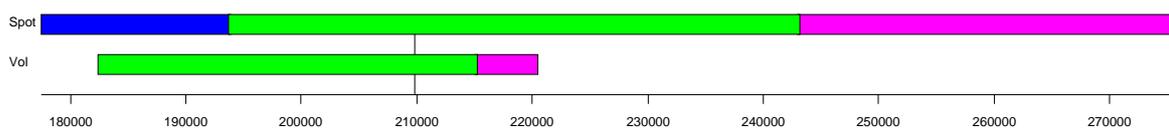


Figura 20 – Valor do Projeto: Sensibilidade frente ao preço spot e a volatilidade