

8

Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

No presente trabalho foi proposta uma metodologia capaz de estimar o valor incremental do mercado de carbono nos projetos que utilizam as fontes renováveis para a geração de energia elétrica em sistemas hidrotérmicos interligados, tal como o sistema elétrico brasileiro. Uma das principais características desta metodologia é determinar a linha de base do projeto MDL de forma prospectiva, levando em consideração o risco técnico do projeto associado à operação do sistema. Além disso, considerando que o preço da RCE é uma variável aleatória, outra característica importante da metodologia proposta é considerar que a ação do gerente pode agregar valor ao projeto, uma vez que fica a seu critério decidir se vale à pena ou não investir nos custos de transação para que o mesmo seja registrado no Comitê Executivo do MDL. Tal opção foi avaliada pelos métodos Binomial, LSM e de GVW.

Utilizando os resultados do método Binomial como *benchmark*, verificou-se que tanto o método LSM quanto o método de GVW, ambos baseados na técnica de Simulação de Monte Carlo, podem ser considerados robustos para a avaliação de opções com as características descritas neste trabalho. É importante ressaltar que estes resultados foram obtidos considerando que o preço da RCE é modelado por um Movimento Geométrico Browniano, entretanto, mesmo quando o processo de difusão com saltos foi utilizado, a robustez desses métodos também pode ser verificada. Neste caso, o *benchmark* utilizado foi o resultado obtido pela utilização do método de GVW.

No que tange ao processo estocástico empregado na simulação do preço da RCE, verificou-se que a possibilidade desse preço experimentar variações anormais ao longo do tempo (saltos) eleva o valor da opção. Também foi observado que o valor da opção aumenta à medida que se aumenta o tamanho médio e a volatilidade dessas variações. De acordo com a teoria de precificação de

opções, isso ocorre porque, na presença de saltos, a volatilidade do preço do ativo é elevada, o que, por sua vez, também eleva o valor da opção.

Além disso, dependendo da natureza dos saltos considerados (saltos para cima, para baixo, ou para cima e para baixo), verificou-se que a janela temporal onde pode ser ótimo o exercício antecipado da opção é aumentada. Isso ocorre porque a percepção de que variações anormais de determinada natureza podem vir a ocorrer no preço da RCE implicam em custos de oportunidade adicionais decorrentes do não exercício antecipado da opção.

Neste trabalho a utilização do método de GVW possibilitou a determinação de curvas de gatilho para o valor do projeto (ativo base da opção), entretanto, ao contrário dos resultados obtidos por Siegel, Smith & Paddock [40], tais curvas não apresentaram formato monotônico ao longo do tempo. Verificou-se que esse comportamento é devido à relação descontínua entre o preço da RCE (S) e o valor do projeto (V), observada sempre que a evolução temporal da linha de base é considerada.

É importante destacar que além de curvas de gatilho não monotônicas, também foi observado que as mesmas variam de acordo com o cenário de incerteza técnica considerado. Uma vez que a operação do sistema elétrico brasileiro é prevista de maneira distinta em cada cenário hidrológico, nota-se que a evolução temporal da linha de base do projeto MDL também varia, o que diferencia a relação entre V e S em cada um destes cenários.

Neste trabalho o valor incremental do mercado de carbono é estimado considerando o desenvolvimento de projetos que utilizam diferentes tecnologias para a geração de energia elétrica (hidráulica e eólica). Além disso, para cada tecnologia considerada, projetos MDL de diferentes escalas foram analisados. A partir dos resultados apresentados na seção 7.3, conclui-se que os projetos de grande escala, desenvolvidos no subsistema N/NE/MM, são favorecidos quando o método de **Análise dos Dados de Despacho** (OM DDA) é utilizado para determinar a sua linha de base. Por outro lado, para os projetos desenvolvidos no subsistema S/SE/CO/AR, conclui-se que o método **OM Simples Ajustado** pode ser considerado o mais vantajoso entre as possibilidades de cálculo. Cabe ressaltar que, independente do subsistema onde o projeto é desenvolvido, o método **OM Médio** é considerado o mais conservador para o caso brasileiro.

No que tange especificamente a utilização do método **OM DDA**, verificou-se que o seu grau de conservadorismo irá depender das premissas adotadas na sua utilização. Por exemplo, excluindo a geração inflexível das usinas termelétricas, e considerando o valor da água na determinação da ordem do mérito de despacho, conclui-se que a linha de base determinada por este método se torna mais conservadora do que a determinada pelo método **OM Médio**, anteriormente considerado a pior alternativa para o caso brasileiro.

Para os projetos de pequena escala, os resultados obtidos neste trabalho levam a conclusão de que a utilização do método **OM Aproximado** é a alternativa mais vantajosa para este tipo de projetos. Entretanto, uma vez que a versão nº 9 da metodologia AMS-I.D não considera este método como uma possível alternativa, cabe ressaltar que novamente os métodos **OM DDA** e **OM Simples Ajustado** se mostraram os mais vantajosos para a determinação da linha de base desses projetos.

Conforme observado por Eguren [11], verificou-se neste trabalho que a receita proveniente da comercialização de RCEs pode não ser suficiente para remunerar os custos de transação dos projetos MDL. No caso especial dos projetos de pequena escala, verifica-se que o valor da opção pode ser próximo ou igual a zero quando elevados custos de transação são considerados. No que tange à configuração do sistema elétrico brasileiro, nota-se que os subsistemas Sul e Nordeste, individualmente, são considerados os subsistemas mais vantajosos para o desenvolvimento de projetos MDL. A partir deste resultado conclui-se que a delimitação do SIN em apenas dois grandes subsistemas elétricos eleva o valor incremental do mercado de carbono para os projetos desenvolvidos nas regiões Norte e Sudeste do Brasil.

Avaliando o mercado de carbono especificamente para os projetos eólicos, conclui-se que a maior participação da Margem Operacional na linha de base desses empreendimentos eleva a vantagem comparativa do seu desenvolvimento no subsistema S/SE/CO/AR. Isso ocorre porque o Fator de Emissão da Margem Construtiva neste subsistema é inferior a este mesmo parâmetro obtido no subsistema N/NE/MM. Adicionalmente, a situação inversa pode ser observada quando o Fator de Emissão da Margem Operacional é analisado.

Avaliando cada projeto MDL individualmente, conclui-se que o valor incremental do mercado de carbono pode aumentar em até 3.10 pontos percentuais a TIR das pequenas centrais hidrelétricas analisadas. Já para as usinas eólicas, este incremento pode chegar a 1.38 pontos percentuais, a depender das condições de desenvolvimento do projeto. As análises realizadas mostram que, apesar da opção ser mais valiosa para os projetos eólicos, o impacto do mercado de carbono na TIR das PCHs é superior ao observado naqueles projetos. Este fato pode ser atribuído ao baixo fator de capacidade em geral associado à utilização da tecnologia de geração eólica no Brasil.

Neste contexto, destaca-se como as principais contribuições deste trabalho:

- O desenvolvimento de um arcabouço metodológico que permite determinar o valor incremental do mercado de carbono nos projetos de geração de energia elétrica conectados à sistemas hidrotérmicos interligados, bem como determinar o impacto deste valor na rentabilidade desses projetos;
- A introdução de cenários hidrológicos (despachos) na determinação da evolução temporal da linha de base de projetos MDL de geração de energia elétrica, viabilizando a consideração do risco técnico no cálculo do valor incremental do mercado de carbono;
- A consideração adicional da aleatoriedade nos preços das Reduções Certificadas de Emissões (risco de mercado) associados ao desenvolvimento de projetos MDL de geração de energia elétrica, utilizando a Teoria de Opções Reais;
- A análise do impacto do nível de agregação dos subsistemas elétricos no valor incremental do mercado de carbono e na rentabilidade do projeto;
- A possibilidade de se analisar o desempenho de todos os métodos existentes nas duas metodologias aprovadas para o cálculo do fator de emissão da linha de base de projetos MDL de geração de energia elétrica;
- A identificação de curvas de gatilho não monotônicas e descontínuas relacionando o ativo objeto da opção com o período de maturidade da opção;

- A identificação de curvas de gatilho não coincidentes quando diferentes cenários de incerteza técnica são considerados e o preço da RCE é modelado pelo MGB e pelo MGB com Saltos;
- A verificação de que o horizonte ótimo de exercício da opção considerada depende das propriedades do processo estocástico considerado;
- A verificação da convergência do Método dos Mínimos Quadrados (LSM) quando o MGB com Saltos é utilizado para modelar o preço da RCE.

Adicionalmente, as principais conclusões deste trabalho podem ser resumidas da seguinte forma:

- A utilização dos métodos Binomial, LSM e de GVW, independente da utilização do MGB ou do MGB com Saltos na modelagem do preço da RCE, pode ser considerada robusta para a avaliação do investimento adicional considerado neste trabalho;
- A utilização do MGB com Saltos pode elevar o valor da opção de registrar o projeto MDL;
- Para os projetos de grande escala desenvolvidos no subsistema N/NE/MM, a metodologia **OM DDA** é a mais indicada para o cálculo da sua linha de base. Entretanto, no subsistema S/SE/CO/AR, a metodologia **OM Simples Ajustado** se torna a mais vantajosa;
- No cálculo da linha de base do projeto MDL, a consideração ou não da inflexibilidade da geração termelétrica e do valor da água para os geradores hidrelétricos pode tornar o método **OM DDA** menos atrativo;
- Na maioria dos casos analisados em projetos de pequena escala, o método **OM Aproximado** foi o mais indicado para o cálculo da sua linha de base. Entretanto, desde Julho de 2006, a sua utilização não é mais possível, significando, em termos práticos, uma redução dos benefícios atribuídos aos projetos de pequena escala;
- Analisando-se o SIN dividido em 4 ou 2 subsistemas elétricos, verificou-se que o desenvolvimento de projetos MDL nos subsistemas Sul e Nordeste, representados de forma isolada, é mais vantajoso do que quando estes

subsistemas estão agregados aos subsistemas Sudeste e Norte, respectivamente;

- No caso específico dos projetos eólicos, concluiu-se que devido a maior participação da Margem Operacional na sua Linha de Base o seu desenvolvimento no subsistema S/SE/CO/AR foi comparativamente mais vantajoso do que no subsistema N/NE/MM;
- Para os projetos hidrelétricos avaliados, verificou-se que o valor incremental do mercado de carbono pode elevar a TIR original do empreendimento em até 3,10 pontos percentuais;
- Já para os projetos eólicos avaliados, verificou-se que o valor incremental do mercado de carbono teve um impacto menor sobre a TIR original do empreendimento (máximo de 1,38 pontos percentuais). Concluiu-se que este valor é fortemente influenciado pelos baixos fatores de capacidade destes empreendimentos, quando comparados com as PCHs.

Apesar da relevância da metodologia desenvolvida nesta tese, entende-se que o tempo computacional associado à utilização dos métodos que empregam a Simulação de Monte Carlo pode ser considerado a principal dificuldade para a sua utilização. Além disso, entende-se que alguns refinamentos metodológicos poderiam contribuir para a melhoria dos resultados obtidos. Sendo assim, destaca-se como algumas das principais sugestões para trabalhos futuros à este tese os seguintes tópicos:

- Verificar o desempenho do emprego de técnicas de redução de variância no sentido de reduzir o número de Simulações de Monte Carlo e elevar a eficiência computacional do algoritmo;
- Utilizar técnicas de agrupamento estatístico (por exemplo, o método *K-means* [79]) no sentido de reduzir o número de cenários de incerteza técnica (cenários hidrológicos) utilizados no processo de solução do problema visando reduzir o esforço computacional;
- Avaliar a possibilidade de se modelar o processo estocástico do Fator de Emissão da Linha de Base, passando a calcular o valor incremental do mercado de carbono por meio de uma opção bidimensional;

- Estudar a possibilidade de se modelar o processo estocástico do preço da RCE;
- Utilizar, no cálculo dos cenários do Fator de Emissão da Linha de Base, a modelagem de usinas hidrelétricas individualizadas, por exemplo, empregando o Modelo SUIISHI-O, desenvolvido pelo CEPEL;
- Avaliar o impacto da aleatoriedade dos ventos na determinação do valor incremental do mercado de carbono nos projetos eólicos;
- Considerar o valor incremental do mercado de carbono na execução do planejamento da expansão da geração de energia elétrica no Brasil.
- Estender o método binomial para que o mesmo seja capaz de avaliar opções americanas cujo preço do ativo objeto siga o Movimento Geométrico Browniano com Saltos.
- Estender a metodologia proposta neste trabalho para avaliar outros tipos de investimentos, tais como projetos de eficiência energética, projetos de geração de energia elétrica em aterros sanitários ou a partir de biomassa.