

# 1 Introdução

A mudança global do clima é tida como um dos problemas ambientais mais graves do século XXI. Este problema vem sendo causado pela intensificação do efeito estufa, o qual está relacionado ao aumento da concentração de determinados gases na atmosfera terrestre. Tais gases são denominados “Gases de Efeito Estufa”.

Os Gases de Efeito Estufa (GEE) são principalmente emitidos por atividades humanas, ditas antrópicas, tais como a atividade industrial, a circulação de veículos, a queima das florestas, a utilização de aterros sanitários, ou a queima de combustíveis fósseis para a geração de energia elétrica. Embora o clima da Terra sempre tenha variado de modo natural, a velocidade e a intensidade do aumento da temperatura nas últimas décadas têm sido incompatíveis com o tempo necessário para a adaptação da biodiversidade e dos ecossistemas do planeta [3].

Neste contexto, com o objetivo de alcançar melhores níveis de desenvolvimento humano e promover o crescimento econômico mundial de forma sustentável, ou seja, evitando que a ação do homem interfira no clima do planeta, entrou em vigor em 21 de março de 1994 a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (CQNUMC). Segundo o acordado nesta convenção [4], os países desenvolvidos e demais partes constantes no seu ANEXO I devem adotar políticas internas no sentido de limitar as suas emissões de GEE.

Desde a sua entrada em vigor, reuniões anuais entre os países membros da CQNUMC têm ocorrido no sentido de revisar a sua implementação e buscar soluções para o problema da mudança do clima. Tais reuniões são denominadas “Conferência das Partes”. Em 1995, durante a realização da primeira Conferência da Partes (COP1), ficou decidido que o compromisso de redução originalmente

estabelecido pela CQNUCC era inadequado<sup>1</sup>. Este fato deu origem a uma série de negociações, as quais, em 1997, culminaram com a adoção do Protocolo de Quioto<sup>2</sup>.

Segundo os termos do Protocolo de Quioto [5], ficou estabelecido que tanto os países industrializados, quanto os países em transição para uma economia de mercado (vide Apêndice A), deveriam reduzir as suas respectivas emissões de GEE em 5,2% em relação aos níveis registrados em 1990. Também ficou estabelecido que tais reduções deveriam ser comprovadas no período de 2008 a 2012.

Com o objetivo de reduzir o custo monetário dos países incluídos no ANEXO I da CQNUMC para limitar as suas emissões de Gases de Efeito Estufa, três mecanismos flexíveis foram estabelecidos pelo Protocolo de Quioto: o Comércio de Emissões, a Implementação Conjunta e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Cabe ressaltar que o MDL é o único mecanismo que permite a participação dos países em desenvolvimento.

Dentre os principais objetivos do MDL pode-se destacar a promoção do desenvolvimento sustentável dos países que não estão incluídos no ANEXO I da CQNUMC. Por meio deste mecanismo, é permitido que projetos elaborados nestes países possam obter benefícios econômicos adicionais desde que os mesmos reduzam as atuais emissões de GEE. Tais reduções são denominadas Reduções Certificadas de Emissões (RCE) e podem ser negociadas no mercado mundial de carbono<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> A CQNUMC estabelecia originalmente que os países desenvolvidos deveriam reduzir as suas emissões de CO<sub>2</sub>, aos níveis de 1990, até o ano 2000.

<sup>2</sup> Apesar de ter sido adotado em 1997, a entrada em vigor do Protocolo de Quioto ocorreu apenas em 16 de fevereiro de 2005, após o mesmo ter sido ratificado pela Rússia. Cabe ressaltar que apenas nesta data todas as condições necessárias para a sua entrada em vigor foram satisfeitas, ou seja, que o protocolo fosse ratificado por, no mínimo, 55 partes da CQNUCC, e que os países desenvolvidos incluídos neste grupo respondessem por pelo menos 55% das emissões totais de dióxido de carbono em 1990.

<sup>3</sup> As Reduções Certificadas de Emissões também são comumente denominadas Créditos de Carbono.

Na América Latina, pode-se dizer que o MDL já está em atividade. Atualmente o Brasil se caracteriza como um dos mais importantes produtores mundiais de RCEs, sendo o responsável por aproximadamente 20% dos projetos MDL desenvolvidos no planeta [6]. Considerando apenas as iniciativas em andamento, estima-se que o potencial brasileiro para reduzir emissões gira em torno de 13,5 a 21,6 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente por ano (tCO<sub>2</sub>e/ano). Adicionalmente, considerando o potencial das iniciativas tecnicamente viáveis no curto e médio prazo, estima-se que esse potencial possa ser elevado em, no mínimo, 27,2 milhões de tCO<sub>2</sub>e/ano. Em ambos os casos os projetos do Programa de Incentivos as Fontes Alternativas de Energia (PROINFA) merecem lugar de destaque [7].

Para os projetos desenvolvidos no âmbito do PROINFA, acredita-se que a comercialização de RCEs possa gerar um fluxo de receitas capaz de melhorar a sua rentabilidade, o que, conseqüentemente, reduziria o repasse ao consumidor final proveniente do incentivo tarifário concedido à geração de energia renovável. Para os projetos desenvolvidos nos sistemas isolados do Brasil, acredita-se que o impacto na sua rentabilidade seja ainda mais elevado, uma vez que a operacionalização desses projetos estaria deslocando a geração termelétrica a partir do óleo diesel [7].

Tendo em vista a importância das fontes alternativas no atual cenário energético do Brasil, este trabalho tem como um dos seus objetivos principais desenvolver um arcabouço metodológico capaz de estimar o valor incremental do mercado de carbono para os projetos que visam atender à demanda de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional. Em particular, alguns projetos típicos do PROINFA serão analisados.

Neste contexto, cabe ressaltar que os trabalhos desenvolvidos até o momento não consideram o risco técnico dos projetos MDL, ou seja, o risco relacionado à sua capacidade de produzir RCEs durante a sua fase operativa. Por exemplo, nas análises realizadas pelo Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (NAE) [7] e pela Associação Espanhola da Indústria Elétrica (UNESA) [8], é considerado que a linha de base desses projetos não varia

ao longo do tempo<sup>4</sup>. Adicionalmente, documentos elaborados no sentido de justificar a relevância de determinados projetos no âmbito do MDL também partem da mesma premissa [9][10].

É importante destacar que a premissa utilizada nestes estudos não pode ser considerada incorreta, entretanto, além de não ser a opção mais conservadora do ponto de vista ambiental, tampouco pode ser empregada em todos os métodos previstos para o cálculo da linha de base dos projetos de geração de energia elétrica. Por exemplo, segundo o escopo da metodologia ACM0002 [1], considerando a hipótese de que a linha de base do projeto seja determinada periodicamente *ex-post* ao seu período de atividade, é necessário à utilização de modelos ou ferramentas capazes de estimar as reduções a serem alcançadas ao longo do período de estudo. Tais modelos, além de comprovar que o projeto proposto cumpre com um dos requisitos principais do MDL, ou seja, promove o desenvolvimento limpo, também pode ser útil no sentido de auxiliar o investidor na sua tomada de decisão.

Neste contexto, destaca-se como outro importante objetivo deste trabalho modelar a incerteza técnica do projeto MDL, considerando a evolução temporal da sua linha de base ao longo do período de atividade do mesmo. Uma vez que os projetos analisados neste trabalho estão conectados ao Sistema Interligado Nacional, entende-se que a sua linha de base pode variar de acordo com a operação do sistema elétrico brasileiro.

Além de modelar a incerteza técnica do projeto, outra proposta deste trabalho consiste em avaliar a incerteza de mercado associada à aleatoriedade do preço da RCE. Segundo Eguren [11], para preços muito baixos, a contribuição financeira com a venda das RCEs pode não ser significativa, fazendo com que vários projetos não sejam atrativos sob o ponto de vista econômico. Neste trabalho verificar-se-á que mesmo para os projetos de pequena escala o mercado de carbono possui valor incremental quando existe a oportunidade de espera por melhores níveis de preços. Para tanto, a metodologia empregada nesta análise será a Teoria das Opções Reais.

---

<sup>4</sup> Cabe ressaltar que as reduções alcançadas em virtude da implantação de um projeto MDL é determinada em relação à um cenário de referência, denominado linha de base.

Conforme será ressaltado no Capítulo 5, a Teoria das Opções Reais têm sido pouco empregada para a análise de investimentos em projetos MDL. Até o momento, as principais aplicações têm se concentrado nas atividades de florestamento e reflorestamento (vide Baran [12] e Ruolz [13]), entretanto, em muitos outros casos, o método mais empregado ainda tem sido o Valor Presente Líquido (vide Barros [14] e UNESA [8]).

Cabe ressaltar que a metodologia desenvolvida neste trabalho é baseada em três diferentes pilares: nos conceitos e fundamentos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, incluindo as metodologias utilizadas para o cálculo do número de RCEs atribuídas à atividade do projeto, nos conceitos e ferramentas utilizadas no planejamento da operação energética no Brasil, e, finalmente, na Teoria das Opções Reais. Neste contexto, os próximos capítulos desta tese têm por objetivo principal descrever os fundamentos destas áreas de conhecimento, que por sua vez também são relevantes para o entendimento dos resultados finais deste trabalho.

No Capítulo 2 são destacadas as principais características do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Inicia-se com uma breve descrição sobre a estrutura institucional do MDL. Em seguida são destacadas as principais propriedades e características dos Gases de Efeito Estufa. Conceitos importantes como os de linha de base e adicionalidade dos projetos também são abordados neste capítulo. Em seguida são destacados os aspectos gerais a respeito dos custos de transação e do ciclo de um projeto MDL. Finalmente, alguns entendimentos sobre os riscos de um projeto MDL, assim como os modelos existentes para a comercialização de RCEs, encerram o capítulo.

Os Capítulos 3, 4 e 5 são mais específicos. No Capítulo 3 são discutidas as principais características do planejamento da operação energética de médio prazo no Brasil, destacando-se a utilização do modelo NEWAVE [15] para os fins deste trabalho. Cabe ressaltar que a configuração adotada para o Sistema Interligado Nacional também será objeto de discussão neste capítulo. Já o Capítulo 4 descreve as metodologias empregadas para o cálculo da linha de base dos projetos analisados. Neste capítulo as metodologias ACM0002 [1] e AMS-I.D [2] serão descritas detalhadamente, sendo importante observar que estas metodologias são respectivamente aplicadas aos projetos de grande e pequena escala. Finalmente, o

Capítulo 5 descreve os fundamentos da Teoria das Opções Reais bem como as técnicas utilizadas para a sua avaliação.

No que tange ao Capítulo 5, cabe ressaltar que serão mencionadas as principais aplicações da Teoria das Opções Reais, contextualizando este trabalho frente aos principais trabalhos desenvolvidos até o momento. Além disso, três métodos numéricos serão descritos: o método binomial, o método dos Mínimos Quadrados, e o método de Grant, Vora & Weeks, todos empregados na avaliação de opções do tipo americana. É importante observar que um dos objetivos deste trabalho também é verificar a convergência dos métodos numéricos anteriormente mencionados frente às condições específicas de desenvolvimento dos projetos MDL considerados. Finalmente, as principais características dos processos Geométrico Browniano e de Difusão com Saltos são descritas neste capítulo.

No Capítulo 6 o estudo de caso proposto é descrito detalhadamente. Inicialmente, destaca-se a participação do Brasil e da América Latina no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, sendo enfocados os seus respectivos potenciais para o desenvolvimento de projetos relacionados à geração de energia elétrica por meio de fontes renováveis. Em seguida destaca-se o incentivo dado pelo governo brasileiro ao desenvolvimento deste tipo de projetos. O objetivo destas análises é estabelecer a importância do estudo de caso no atual cenário energético do Brasil e do Mundo. Finalmente o estudo de caso proposto é descrito de forma detalhada.

O Capítulo 7 apresenta os resultados encontrados nesta tese. Inicia-se com uma descrição da metodologia desenvolvida para se estimar o valor incremental do mercado de carbono nos projetos brasileiros de geração de energia elétrica. É válido ressaltar que o ferramental apresentado nos Capítulos 3, 4 e 5 constitui a base desta metodologia. Em seguida a convergência dos métodos numéricos empregados neste trabalho é sistematicamente testada. Finalmente, são apresentados os resultados referentes aos quatro estudos de caso propostos para análise.

Encerrando este trabalho, o Capítulo 8 apresenta as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros. Após essa breve introdução, os principais conceitos referentes ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo serão descritos no próximo capítulo.