

1 Introdução

A energia eólica está entre as que mais crescem no mundo, tendo apresentado um crescimento de 31% em capacidade instalada no ano de 2009, atingindo a marca de 158 GW e gerando um mercado de turbinas equivalente a USD 63 Bn em 2009. Cerca de um milhão de pessoas estão empregadas no segmento eólico, no mundo (GWEC, 2009).

Os maiores mercados para energia eólica são a Ásia, América do Norte e Europa, os quais instalaram mais de 10 GW em nova capacidade eólica em 2009 (GWEC, 2009) de modo a fazer frente a uma demanda crescente por energia, reduzir sua dependência de combustíveis importados e, finalmente, reduzir emissões de gases de efeito estufa.

O Brasil, embora tendo problemas de dependência de combustíveis fósseis menores que os enfrentados por outras partes do mundo, também está diante de desafios importantes, dado que a demanda por energia elétrica deverá crescer cerca de 54% nos próximos 10 anos (PDEE, 2010). Este desafio poderá também ser enfrentado via maior investimento em energia eólica, que hoje responde por menos de 1% da capacidade de geração elétrica do país.

A matriz elétrica brasileira já é 84% baseada em fontes renováveis, hidroeletricidade basicamente, e se previa no Plano Decenal de Expansão de Energia anterior (PDEE, 2008) que este número cairia para 80% em 2017, fruto de maior participação de térmicas na matriz elétrica e de uma geração eólica irrelevante, ainda inferior a 1% do total.

No entanto, o novo Plano Decenal de Expansão de Energia (PDEE, 2010), ainda em fase de consulta pública, já sinaliza uma mudança na estratégia: prevê-se agora que fontes renováveis, embora ainda caindo para 81% da matriz de geração em 2017, crescerão para 83% em 2019. Passou-se a prever, também, que a geração eólica representará 4% da matriz em 2019.

A mudança de estratégia com relação à geração eólica pode ter sido influenciada pela expectativa de que a implantação de novas hidrelétricas e

térmicas demorará mais que o anteriormente previsto, e também pelo otimismo do governo após os preços baixos obtidos no primeiro leilão específico para energia eólica, ocorrido em dezembro de 2009. Diante da preocupação do governo com a carbonização da matriz elétrica, as poucas perspectivas de crescer a oferta via PCHs e o ambiente pouco competitivo nos leilões de biomassa, a energia eólica configurou-se como uma alternativa viável para manter a matriz elétrica brasileira fortemente calcada em renováveis.

O primeiro leilão de eólicas marcou uma importante mudança nas políticas para o segmento. Anteriormente, o primeiro programa de incentivo a eólicas de expressão foi o PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Decreto 5025, 2004), e que oferecia tarifas fixas por 20 anos, empréstimos subsidiados e outros benefícios. Apesar disso, a implantação dos parques foi lenta e aquém do esperado. Espera-se que somente no final de 2010, 4 anos após a data originalmente estipulada para o início de geração, estará finalmente em operação toda a capacidade eólica contratada via o PROINFA em 2004: 1,4 GW. As tentativas seguintes para contratar energia eólica para o SIN (Sistema Interligado Nacional) falharam devido à competição em um mesmo leilão com outras fontes mais baratas de energia, tais como as térmicas a biomassa/hidrocarbonetos e PCHs.

Apesar dos contratempos iniciais, o primeiro leilão específico para energia eólica (2º. LER, Leilão de Energia de Reserva, em dezembro de 2009) demonstrou haver um grande interesse por parte dos empreendedores neste segmento, com oferta superior a três vezes a demanda, e no qual foi contratada energia de 71 parques eólicos, totalizando 1,8 GW em nova capacidade instalada. Neste leilão, 753 MW médios de energia eólica foram contratados ao preço médio de R\$ 148/MWh, 22% abaixo do teto estabelecido de R\$ 189/MWh.

Poucos meses após esse bom resultado, o PDEE 2010 foi divulgado, contendo a primeira sinalização de um compromisso de longo prazo do governo com relação ao segmento. Além disso, foram realizados dois novos e bem sucedidos leilões de eólicas ainda em 2010¹, um seguindo as mesmas regras do primeiro leilão – no formato de Leilão de Energia de Reserva -, outro com regras

¹ Estes dois leilões ocorreram poucos dias antes da defesa desta tese, e não são analisados neste trabalho.

diferenciadas e no formato de Leilão de Fontes Alternativas, sinalizando novamente o interesse em geração eólica. No entanto, as políticas governamentais para o setor elétrico têm sido erráticas e persiste no mercado o sentimento de que a estratégia governamental para o segmento eólico pode novamente ser revista à luz de novas informações e da evolução da oferta/demanda no Brasil. Isto é especialmente verdade ao se levar em conta as perspectivas de grande oferta futura de gás dos blocos do pré-sal e do gás de xisto (*shale gás*), que viabilizarão térmicas muito competitivas e mais aderentes às duas principais metas da política energética brasileira: modicidade tarifária e confiabilidade no suprimento energético.

O resultado do leilão 2009 mostra que certos empreendedores reagiram a esse cenário de forma surpreendente: alguns projetos em locais de menor potencial eólico ganharam o leilão, em detrimento de outros projetos mais viáveis; algumas empresas com experiência internacional em eólicas sequer participaram do leilão, enquanto outras, novatas, venderam energia no leilão a preços abaixo do esperado. Considerando-se a experiência do PROINFA, em que muitos parques enfrentaram dificuldades para se concretizar, resta a dúvida se os bons resultados colhidos pelo governo no leilão 2009 serão, de fato, realizados.

Diante deste quadro, esta tese procura responder às seguintes perguntas de pesquisa, respondidas em cada uma das três partes que compõem este trabalho:

- 1) Faz sentido aumentar a inserção eólica na matriz elétrica brasileira? Caso positivo, as regras atuais para o segmento favorecem a inserção eólica no país?**
- 2) Com base nas regras atuais do Leilão de Energia de Reserva, e considerando-se o risco do vento, qual a quantidade ótima a ofertar de energia eólica, e a que preço mínimo, nos leilões de energia?**
- 3) Até que ponto o cenário incerto e as diferentes visões sobre o futuro podem ter favorecido a entrada de empresas eólicas menos viáveis no mercado, em detrimento de outras empresas com maiores chances de, de fato, concretizarem seus projetos? A política atual garante menor preço para os consumidores de energia?**

A resposta a cada pergunta de pesquisa permite construir, de forma encadeada, recomendações que podem ser úteis para o governo, na medida em que analisa o histórico das políticas de contratação de energia eólica já adotadas no Brasil, assim como as lições aprendidas tanto no Brasil quanto no exterior, alertando ainda para as formas como os empreendedores tendem a reagir ao conjunto atual de regras, ao responder às perguntas de pesquisa 2 e 3.

Esta tese também é útil ao mundo corporativo, já que propõe uma forma de analisar o impacto das regras atuais na relação risco *vs.* retorno de parques eólicos por meio de um critério de decisão relativamente recente, a medida Ômega, originalmente proposta por Keating & Shadwick (2002) para resolver problemas envolvendo ativos financeiros, porém ainda não utilizada em projetos eólicos.

Além disso, ao modelar o ambiente de incertezas do mercado para projetos eólicos usando o arcabouço de Jogos com Opções Reais e, mais especificamente a teoria de duopólios assimétricos sob incerteza, esta tese propõe uma forma de analisar o impacto da competição na decisão de investir que é tanto útil para o governo, como para potenciais investidores em parques eólicos. O modelo proposto de análise é inovador no que se refere à forma, pois considera o problema como uma decisão de investir em um portfólio de parques eólicos em que a incerteza está expressa no valor do parque-padrão de cada jogador, considerando-se ainda três assimetrias entre os jogadores do duopólio. A metodologia também é inovadora na aplicação, não tendo sido utilizada ainda para analisar problemas relacionados ao segmento de geração eólica.

1.1.

Organização da Tese

Cada um dos três grandes temas abordados nesta tese envolve linhas teóricas e de pesquisa específicas, de modo que se optou por apresentar a revisão de literatura e os referenciais teóricos/metodologia separadamente, dentro dos seus capítulos específicos, Capítulos 2, 3 e 4, que tendem a ser autocontidos. No entanto, reservou-se a Seção 1.2 desta Introdução para uma breve descrição dos grandes temas abordados na Revisão de Literatura.

O Capítulo 2 discute as políticas de incentivo à energia eólica já adotadas no Brasil, os benefícios e riscos de aumentar a inserção eólica e as lições já

aprendidas no Brasil e em outros países, de modo a responder à primeira pergunta de pesquisa.

O Capítulo 3 procura responder à segunda pergunta de pesquisa por meio da avaliação de um parque eólico no Nordeste do Brasil, sujeito às regras de contratação de energia eólica que foram aplicadas no primeiro leilão e que deverão ser também utilizadas nos próximos leilões que ocorrerem no formato de Leilão de Energia de Reserva. Com dados sobre o comportamento do vento no local do projeto, modela-se o risco do vento e fazem-se simulações do valor do projeto, as quais servem de base para a escolha da estratégia de participação no leilão, utilizando-se como critério de decisão a medida Ω e comparando-a com outros critérios. Novamente, procura-se identificar como as regras influenciam a forma como os empreendedores tendem a participar no leilão.

O Capítulo 4 analisa o universo de empreendedores eólicos como um duopólio composto por um jogador que tem um portfólio de projetos mais viáveis economicamente que o de seu oponente, tem um custo menor de entrada no setor mas, por outro lado, tem também uma visão de futuro diferenciada. Com base na Teoria de Jogos com Opções Reais, modela-se o problema e identifica-se qual cenário favorece a entrada de empresas mais fortes e a preços menores para o consumidor, respondendo à pergunta de pesquisa 3.

Cada um desses capítulos traz informações novas e diferenciadas sobre o impacto das novas regras de contratação de energia eólica via leilões. Tais conclusões, detalhadas em cada capítulo específico, são resumidas no Capítulo 5, Conclusões, que também contém as recomendações para pesquisas futuras.

1.2. Revisão de Literatura

Cada uma das perguntas de pesquisa desta tese envolve diferentes linhas teóricas e de pesquisa, fazendo-se necessária uma revisão de literatura envolvendo seis grandes temas:

- I. Políticas de incentivo à geração eólica, no Brasil e no exterior;
- II. Modelos de simulação da velocidade dos ventos;
- III. Critérios de decisão usando análise risco vs retorno;
- IV. Teoria de Opções Reais;

- V. Teoria dos Jogos;
- VI. Teoria de Jogos com Opções Reais, mais especificamente, duopólios assimétricos sob incerteza.

Para esta revisão de literatura, utilizou-se o site Pesquisa Integrada da PUC-Rio, que engloba as bases disponíveis através do Portal CAPES, as bases assinadas pelas Universidades PUC-Rio, UFRJ, LNCC e UNIRio, além dos catálogos das 4 instituições. Além disso, consultou-se o site do Real Options Group (www.realoptions.org.br), que congrega trabalhos apresentados pelos principais autores no tema Opções Reais e Jogos com Opções Reais. Foram revistos artigos apresentados nas conferências anuais do Real Options Group desde 1999, envolvendo duopólios e/ou a indústria eólica. Há três grandes revisões de literatura sobre Jogos com Opções Reais, a saber, Boyer, Gravel & Lasserre (2004), Azevedo & Paxson (2010), Chevalier-Roignant, Flath, Arnd, Trigeorgis (2010), que também serviram de fonte para identificar os principais trabalhos envolvendo duopólios assimétricos.

As revisões de literatura relativas aos temas I e II&III serão apresentadas, respectivamente, nos Capítulos 2 e 3 desta tese. Os demais temas serão revistos no Capítulo 4.

Foi também necessária uma análise documental dos programas de contratação de energia eólica no Brasil, especialmente no que se refere ao PROINFA, às leis e documentos relacionados aos primeiro leilão específico para energia eólica no Brasil (2º. Leilão de Energia de Reserva) e aos Planos Decenais de Expansão de Energia. Tais informações foram obtidas nos *sites* do Ministério de Minas e Energia (MME), da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

A pesquisa documental sobre o segmento eólico no Brasil e no mundo usou como base as publicações de organizações da indústria ou de organizações de fomento a fontes alternativas de energia: ABEEólica (Brasil), EWEA (Europa), AWEA (EUA), WWEA (mundo), GWEC (mundo), CanWEA, Retscreen (Canadá), DEWI (Alemanha), obtidas nos respectivos *sites*.