

GESTÃO ENERGÉTICA E INOVAÇÃO SUSTENTÁVEL: A FORMAÇÃO DE PREÇO DA ENERGIA EÓLICA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE

Gustavo Henrique Silva de Souza

Mestre em Psicologia Psicologia Organizacional pela Universidade Federal de Alagoas – UFAL
souza.g.h.s@gmail.com (Brasil)

Nilton Cesar Lima

Doutor em Administração pela Universidade de São Paulo – USP-RP
Professor da Universidade Federal de Uberlândia – UFU
niltoncesar@facic.ufu.br (Brasil)

Elvis Silveira-Martins

Doutor em Administração e Turismo pela Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI
Professor da Universidade Federal de Pelotas – UFPEL
elvis.professor@gmail.com (Brasil)

Jamerson Viegas Queiroz

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Professor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
viegasqueiroz@gmail.com (Brasil)

RESUMO

O cenário energético mundial nos últimos anos tem passado por um processo de mudança devido ao aumento dos preços dos combustíveis fósseis e dos impactos ambientais, impelindo inúmeros investimentos e estudos em energia eólica. A isso, o estado do Rio Grande do Norte tem recebido diversos investimentos, com a construção de novos parques eólicos na região, tendo em vista, este ter o maior potencial eólico do Brasil, que por sua vez tem fomentado o setor com políticas específicas à produção de energia renovável. Nesse sentido, o seguinte artigo tem por objetivo desenvolver um modelo de formação de preço da energia eólica no estado do Rio Grande do Norte no processo de gestão energética dessa inovação sustentável. Em formato teórico-empírico, por uma metodologia exploratória e explicativa, encontraram-se resultados que evidenciam e definem as principais variáveis que interferem no preço da energia eólica, sendo estas: os custos com equipamentos, os incentivos governamentais e o formato brasileiro de competitividade dos leilões de energia elétrica.

Palavras-chave: Formação de Preço; Energia Eólica; Gestão Energética; Inovação Sustentável; Rio Grande do Norte.

1. INTRODUÇÃO

Na última década, o crescimento exponencial da energia eólica teve como impulsão direta o aumento dos preços dos combustíveis fósseis e das energias convencionais – tendo-se como agravante, os diversos danos ambientais causados destes – e, também, os incentivos governamentais que passaram a ser dados às energias renováveis (Kennedy, 2005; Berry, 2009; Lewis, 2010).

O problema surge intrinsecamente da expansão industrial da energia eólica e da necessidade de implantação de uma economia de escala no setor, em que as principais barreiras técnicas ao crescimento da energia eólica a maiores patamares dentro das matrizes energéticas estão associadas às propriedades operacionais e estruturais do sistema energético. Além disso, os fatores de produção, armazenamento e distribuição não estão somente ligados à melhoria da tecnologia eólica, mas sim a todo um grupo interligado de variáveis (Lewis & Wiser, 2007; Göransson & Johnsson, 2011; Mills, Wiser, & Porter, 2012).

À tríade produção, armazenamento e distribuição da energia eólica, existe uma questão crítica referente ao processo de comercialização e gestão desta inovação no mercado de eletricidade, que é o valor da energia eólica. Segundo Kennedy (2005, p. 1661), “quantificar o valor de energia eólica é muito mais difícil do que calcular o seu custo, porque a operação de todo o sistema de energia deve ser incorporada às análises”. Além disso, a escassez de dados específicos sobre o valor de mercado da energia eólica dificulta a formação do preço marginal desta energia, interferindo no processo de expansão do setor.

Caracterizado como uma inovação sustentável por Nascimento, Mendonça e Cunha (2012), o sistema setorial de energia eólica nacional envolve uma multidisciplinaridade dentro da gestão energética, de modo que a inovação assume-se como catalizadora do processo produtivo (tecnologia), do produto (energia), da organização (parques eólicos) e do marketing (comercialização).

Vale destacar que, acerca das perspectivas comerciais e mercadológicas da energia eólica, pouco tem se publicado, abrindo espaço para diversos estudos neste viés (Lewis, 2010; Yang et al., 2012). Ademais, analisa-se que a preocupação com preços se estende, tanto à viabilidade comercial, quanto ao potencial eólico de uma determinada região, requerendo-se estudos sistemáticos (Dutra & Tolmasquim, 2002; Araújo & Freitas, 2006).

Por outro lado, relativo ao setor energético brasileiro, a participação da energia eólica na matriz energética estava em 0,8% no ano de 2011, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2011), devendo atingir 7% em 2020, conforme prevê o Plano Decenal de Expansão de Energia - PDEE (ANEEL, 2008). A esta expansão, a região nordeste do Brasil apresenta a maior concentração do

potencial eólico do país e boas condições para exploração deste recurso, devido à intensidade e constância de ventos elísios. Os Estados do Rio Grande do Norte e do Ceará detêm 84,48% do potencial eólico da região nordeste, sendo o Rio Grande do Norte o mais representativo com 42,95% (ANEEL, 2008, 2011), o que põe o Estado em evidencia, quando se estuda as temáticas eólicas no Brasil.

Nesse sentido, mediante os avanços tecnológicos provenientes do segmento eólico e o seu respectivo crescimento no nordeste brasileiro, este estudo tem por objetivo desenvolver um modelo de formação de preço da energia eólica produzida no Estado do Rio Grande do Norte, como processo de gestão energética dessa inovação sustentável no mercado alternativo de eletricidades, no qual, analisar-se-á variáveis e construtos vinculados à constituição de um valor final para esta energia.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Formação de Preço

Em sua estrutura, a formação de preço possui abordagens conceituais que se diferem a partir da ótica que venha a ser analisada. O desafio proeminente à compreensão da formação de preço revela-se complexo, ao ponto que uma série de fatores internos e externos à organização interfere nesta formação. Aspectos teóricos desassociados às realidades do mercado ou da organização, segundo Lima, Oliveira, Oliveira et al. (2012), sobretudo possuem efeito irrelevante para a caracterização do preço de um produto ou serviço.

O processo de precificação impõe problemáticas particularizadas a cada tipo de produto/serviço e a cada tipo de organização ou estratégia empresarial (Lima, Oliveira, Oliveira et al., 2012). Assim, Lima, Oliveira, Oliveira et al. (2012) propõem o encadeamento dos fatores que são inerentes à formação do preço do produto/serviço, interrelacionando os fundamentos da análise contábil, econômica, mercadológica e política, objetivando desenvolver um norteamento das variáveis que compõem o preço. Pontuam-se as variáveis significativamente relevantes, relativas a cada um dos fundamentos desta formação, pela análise de elementos como custos; demanda e oferta; consumidores; concorrentes e padrões de qualidade; sensibilidade ao preço e produtos substitutos; e, o contexto social e a interferência política.

Em uma perspectiva de acoplar essas abordagens à precificação de produtos/serviços com alto grau de inovação, tecnologia e política, como é o caso da energia eólica – e também de todo o setor

energético mundial –, Salles (2004) ratifica que se torna necessário relacionar as variáveis internas e externas concernentes a esse tipo de energia. Como destaca Abul’Wafa (2011), a energia eólica necessita de estratégias de inserção no mercado para que penetre no sistema de energia elétrica, exigindo, assim, a formulação de planejamentos e metas.

Berry (2009) reforça que o preço da energia eólica não deve ser formado isoladamente apenas por seus custos, face à multicolinearidade entre os fatores de produção e os fatores externos (sociopolítico e ambiental). Reis e Cunha (2006) corroboram essa linha de pensamento. Para os autores, o preço da energia define-se pelo processo de avaliação de custos completos (ACC) e da mensuração das externalidades. Essa aplicação visa à minimização dos erros na classificação monetária dos recursos energéticos, permitindo às externalidades serem fatores decisivos na avaliação.

A grande dificuldade nesse tipo de avaliação está no levantamento dos custos externos, ou seja, na valoração das externalidades. Muitas vezes, isso é praticamente impossível e, nesse caso, as externalidades devem ser consideradas de forma qualitativas, mas nunca desprezadas (Reis & Cunha, 2006, p. 211).

O desenvolvimento de uma metodologia de avaliação aplicada ao planejamento energético, segundo Reis e Cunha (2006), deve seguir quatro premissas básicas:

1. Consideração do uso eficiente dos recursos energéticos;
2. Consideração dos impactos ambientais;
3. Consideração dos incentivos governamentais às fontes de energia renováveis e não convencionais;
4. Consideração à integridade financeira dos produtores;

Kennedy (2005) corrobora a avaliação de custos completos (ACC), expondo um novo formato de análise para a energia elétrica, baseada na monetarização dos impactos socioambientais, tendo três pontos chave: o custo ambiental; o custo de capacidade; e o custo de energia. Para este formato de análise, o autor propõe a teoria do custo social.

2.2. Teoria do Custo Social

A teoria do custo social de geração de eletricidade, segundo Kennedy (2005), possui uma abordagem singular, pois inclui os custos de ambiente, de capacidade e de energia. Para o autor, devem-se assumir efeitos estacionários ou uma operacionalização em certo equilíbrio, negligenciando, assim, o tempo de construção de novas capacidades de energia, a variabilidade do preço de combustíveis fósseis, ou um crescimento anormal de demanda por energia.

O custo social da geração de energia elétrica tem sua formação de custos fixos e variáveis ambientais, considerando-se que aos diversos tipos de combustíveis podem incorrer custos externos,

custo de reposição de recursos naturais, danos aos ecossistemas e poluição. Na Figura 1, encontra-se a estrutura dos componentes do custo social total da geração de eletricidade.

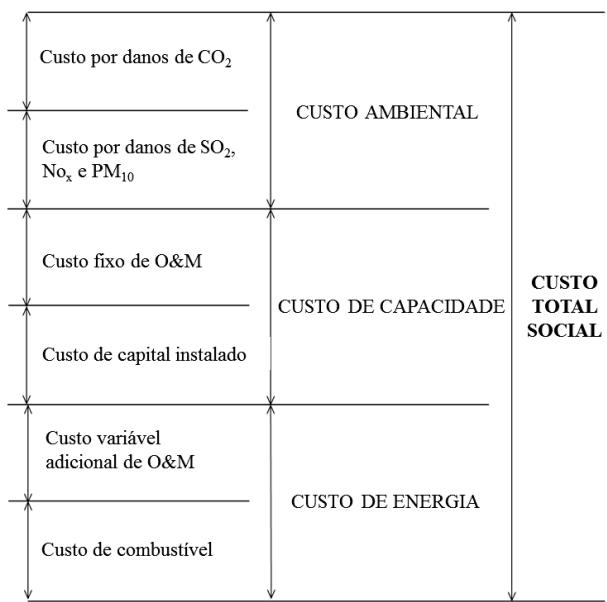


Figura 1. Componentes do Custo Total Social de Geração de Energia

Fonte: Kennedy (2005, p. 1662).

Nota. O&M é *Operating & Maintenance* (Operação e Manutenção).

De modo sistemático, esses custos sociais podem influir a custos monetários reais. Logo, o custo social total de geração de eletricidade pode ser encontrado através de uma equação que soma os custos individuais para cada tipo de gerador (Kennedy, 2005). A equação abaixo, de custo social (*CS*), está em função de *i* que é o valor da planta energética a ser analisada, em que, *CS* é o custo total social, *CV* é o custo variável, *CA* é o custo ambiental, *CF* é o Custo fixo e *P* é a Produção de energia:

$$CS = [(\sum i CV + CA) \times P] + CF$$

Para Kennedy (2005) e Gökçek e Genç (2009), a energia eólica possui um grande benefício social, pois se deduz os custos ambientais e os custos de energia, além do custo de combustível evitado e a minimização das tarifas fiscais. Sendo assim, a energia eólica poderia ser representada apenas pelos custos variáveis multiplicados pela quantidade produzida de energia, somado aos custos fixos. Basicamente, dos custos sociais totais, o sistema eólico possui apenas custos de capacidade.

A maior problemática para o custo da energia eólica decorre dos custos de investimento e de instalação dos parques eólicos, pois a energia eólica possui um baixo custo fixo de operacionalização (manutenção), e não se paga pela matéria prima utilizada – não há custos de energia (vento) (Salles, 2004; Meyer, 2007). Ou seja, ao ponto que a energia eólica é operacionalizada ao longo do tempo, os custos tendem a diminuir até que esta se torne mais barata ao consumidor final. Essa diminuição dos

custos totais passará a ser uma tendência devido a diversos fatores, como o desenvolvimento de turbinas maiores e mais eficientes, dos avanços das tecnologias eólicas e das reduções de custos de administração e operação (Dutra & Szklo, 2008a, 2008b; Yang et al., 2012).

2.2.1. Custos de Capacidade

Kennedy (2005) aponta como custos de capacidade, aqueles relativos ao custo de capital instalado e aos custos fixos de administração e operação, que abarcam todos os equipamentos, a manutenção e a gestão do negócio. Para exemplificar, a Tabela 1 mostra os custos incidentes a cada tipo de geração de energia. Como podem ser visualizados, os custos incidentes no sistema eólico são custos de capacidade, custos fixos de Operação e Manutenção (O&M) e custos fixos comuns.

Tabela 1: Típicos custos fixos e variáveis de tecnologias avançadas de geração de energia

TIPO DE GERADOR	Custo da Capacidade durante a noite (\$/kW)	Custo Fixo O&M (\$/kW/ano)	Custo Fixo (\$/MWh) ¹	Custo Variável de O&M (\$/MWh)	Eficiência (maior valor de aquecimento)	Custo Variável (\$/MWh) ²
Carvão Pulverizado³	1090	16	15,9	2	0,355	12,1
Combustíveis Fósseis⁴	1090	21	16,5	2,1	0,438	10,3
Gás Natural⁴	445	16	7,6	1,5	0,541	20,8
Sistema Nuclear	1000-2090	33	16,7-30,8	Não se Aplica	Não se Aplica	3,8
Turbina Eólica⁵	1425-1600	15	23,3-25,9	0	Não se Aplica	0

Fonte: Kennedy (2005).

Notas. Apontamentos de Kennedy (2005): ¹O custo fixo não é nivelado sobre a produção de energia e não requer nenhuma suposição de fator de capacidade; ² Os custos variáveis incluem O&M e combustível; ³ Planta de vapor elétrico por carvão pulverizado (inclui chaminé para dessulfurizar gás); ⁴ Utiliza turbinas de vapor refrigerado; ⁵ (*Offshore*) O custo de capacidade inclui todos os custos de implantação, linhas elétricas etc. Todos os custos operacionais são combinados em custos fixos de administração e operação.

O que se identifica é que os custos de capacidade e os custos fixos comuns da energia eólica são maiores em relação a outros tipos de geração de energia, face aos altos custos de instalação e manutenção dos parques eólicos. Por sua vez, o custo de Administração e Operação são os menores em relação a outros tipos de geração de energia e não há custos variáveis e de eficiência. À longo prazo, analisando os custos da energia eólica subtraída de seus custos de instalação, a geração desta energia torna-se a mais barata em relação aos outros sistemas de produção de energia.

Aos custos de capacidade, Salles (2004) apresenta a contribuição de cada componente aos custos de um sistema eólico, apontando a percentagem dentro do custo total do investimento, possibilitando que se analise sistematicamente a composição de custos de um projeto eólico (Tabela 2).

Tabela 2: Contribuição dos custos de cada componente de um sistema de energia eólica

ITEM	CONTRIBUIÇÃO (%)
Rotor	25%
Nacelle e Equipamentos Auxiliares	15%
Equipamento Elétrico	15%
Torres e Fundação	10%
Preparação do Local e da Estrada	10%
Estações de Equipamento	8%
Manutenção dos Equipamentos e de Sobressalentes	5%
Financeiro e Legal	5%
Interconexão Elétrica	4%
Custos Adicionais	3%
Total	100%

Fonte: Salles (2004, p. 28).

Verifica-se que os maiores custos do sistema eólico são estritamente em relação aos equipamentos. Gökçek e Genç (2009) argumentam a contribuição dos custos dos componentes de um sistema eólico de maneira similar, no qual, os autores pontuam que esta questão é significativa do aprendizado tecnológico, pois, como estas são tecnologias avançadas, seu sistema de produção ainda é caro. Como também afirma Salles (2004), ao passo que se desenvolve as tecnologias eólicas e estas se popularizam, os custos tenderão a diminuir ainda mais rapidamente. Mesmo assim, a autora aponta como dificuldade que circunda as análises de custo da energia eólica o fato de que:

Não existe um único valor de preço e de custo de energia para o parque eólico. Ambos dependem da localização, do tamanho e da quantidade de turbinas, além de serem influenciados por políticas de incentivo ou subsídios concedidos pelos governos (Salles, 2004, p. 29).

Em complemento à análise da contribuição dos custos de cada componente, Salles (2004) apresenta projeções de custos por eficiência das tecnologias eólicas em escala, comparando os custos para as tecnologias eólicas até os anos 2000 e após os anos 2000 (Tabela 3).

Tabela 3: Projeção dos custos por eficiência tecnológica

Status da Tecnologia Eólica	Até os anos 2000	Pós anos 2000
Custo (US\$/kWh)	0,05 – 0,07	< 0,04
Custo de Capital (US\$/kWh)	500 – 800	< 500
Vida Útil (em anos)	25 – 30 anos	> 30 anos
Fator de Capacidade Média (em %)	25% – 30%	> 30%
Disponibilidade	95	> 95
Faixa de Potência (kW)	300 kW – 1.000 kW	500 kW – 2.000 kW

Fonte: Salles (2004, p. 29).

Nas projeções indicadas na Tabela 3, não está introduzido o custo benefício tradicional das questões ambientais e sociais. Ou seja, no primeiro instante, observa-se que os custos da tecnologia

eólica não tiveram grandes quedas após os anos 2000, que justificasse a diminuição dos custos totais do sistema eólico. Castro et al. (2010) afirmam que a diminuição dos custos de investimentos no desenvolvimento de parques eólicos vão além da fabricação e distribuição dos equipamentos, e ainda recebe forte influência das cargas tributárias e dos custos de capital.

Dados recentes apontam que os custos de investimento de parques eólicos no Brasil ficam em torno de US\$ 3.000,00 por kW instalado, atribuídos especialmente às problemáticas de infraestrutura. Enquanto nos Estados Unidos, os custos ficam em torno de US\$ 1.900,00 por kW instalado e na Europa a US\$ 2.000,00 por kW instalado (Castro et al., 2010).

Salles (2004) acrescenta que a queda dos custos da energia eólica é bastante significativa ao longo do tempo. O custo unitário (US\$/MWh) para a energia eólica, por exemplo, a uma taxa interna de retorno 6%, em um período de 10 anos, mostra uma previsão de diminuição de 47,4%. Essa queda de custos é ainda maior que de outras fontes de energia renovável, pois neste mesmo parâmetro, a Biomassa mostra uma diminuição de 42,8% e a energia solar mostra uma diminuição de 43,9% dos custos unitários.

Paralelamente à análise de custos desenvolvida para a energia eólica, a literatura recomenda a inserção de outras variáveis à análise, tais quais apreciem direcionamentos (1) sociais, face às novas visões de manutenção do planeta e ao crescimento da demanda por energia; (2) político-econômicos, que envolvam os incentivos dados à produção eólica e à diminuição de impostos recorrentes; e (3) ambientais, relativos à diminuição da poluição e dos impactos incorridos a esse tipo de energia.

2.3. Inovação Sustentável: Fatores Sociais, Político-Econômicos e Ambientais

A perspectiva evolucionária das energias renováveis amplia as abordagens que se dão a esse setor dentro do sistema energético mundial. Isso porque, dentro do mercado energético, as energias renováveis e a eólica recebem influência direta e indireta de fatores sociais, político-econômicos e ambientais. Por isso, defende-se uma análise abrangente e ao mesmo tempo pontual, quando se levantam questões sobre esse tema (Nascimento, Mendonça, & Cunha, 2012). Nascimento, Mendonça e Cunha (2012) inserem a energia eólica dentro do conceito de inovação sustentável, que Barbieri et al. (2010) especificam como um modelo de inovação (eco-inovação) que está alinhado e relacionado, justamente, aos benefícios ou impactos sociais, político-econômicos e ambientais.

Os fatores sociais, político-econômicos e ambientais relacionados ao sistema setorial da energia eólica assumem características específicas decorrentes de um dinamismo tecnológico e da demanda por energias limpas, ligado às perspectivas locais ou regionais, onde determinado projeto está ou será

implantado (Abramowski & Posorski, 2000; Nascimento, Mendonça, & Cunha, 2012). Dutra e Szklo (2008a) pontuam que qualquer análise a setores energéticos deve seguir uma linha de pensamento focada no ambiente o qual se estuda. No caso do Brasil, têm-se diversos fatores específicos que se apresentam como problemáticas ao ambiente brasileiro, tais como, fatores fiscais, logísticos, de implementação e de transmissão.

Para autores como Abramowski e Posorski (2000) e Ratinen e Lund (2012), o crescimento da energia eólica está em uma via dicotômica de aprendizado tecnológico e de demandas significativas dos países por energias limpas e renováveis. Do mesmo modo, Silva, Rosa e Araújo (2005) e Martins, Guarnieri e Pereira (2008) apontam que, especialmente no Brasil, a demanda por energia elétrica está em razão da melhoria do padrão vida da população e, como parte de uma cultura socioambiental dos países desenvolvidos e em desenvolvimento, a energia eólica tem sido incluída essencialmente às políticas governamentais e ao planejamento energético.

Além disso, em compasso às inovações nesse âmbito, fatores como a diminuição dos custos da energia eólica no Brasil estão relacionados aos incentivos governamentais de fomento ao financiamento da tecnologia eólica, ao repasse de custos às distribuidoras (*pass through*) e aos apoios fiscais à compra de equipamentos e instalação (isenção de ICMS¹), que inibem a permanência e a entrada de outros custos (Salles, 2004; Dutra & Szklo, 2008a, 2008b; Nascimento, Mendonça, & Cunha, 2012).

Como exemplo, dados do parque de Osório (Ventos do Sul Energia, 2009) mostram que 69% do investimento total de R\$ 650 milhões foram financiados pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Desse valor, R\$ 105 milhões teve aporte direto do BNDES e R\$ 360 milhões foram pagos por um consórcio formado em conjunto de seis instituições financeiras². Ou seja, nota-se que as políticas de incentivo à energia eólica, de fato, têm tido papel fundamental para a expansão do setor.

Isso se deve também, segundo Delarue, Luickx e D'haeseleer (2009) e Bryce (2011), às questões ambientais que envolvem o setor e às reduções de gastos dos países que têm partido para a geração de energia eólica, pois tem se reduzido custos de combustível – em torno de 56 euros por MW de capacidade instalada de energia eólica por ano – e custos ambientais – em torno de 1,26 mil toneladas de CO₂ evitadas por MW de capacidade instalada de energia eólica por ano. Tais fatores levam as organizações e os países a uma postura voltada para a responsabilidade socioambiental e para a

¹ Imposto sobre operações relativas à circulação de mercadorias e sobre prestações de serviços de transporte interestadual, intermunicipal e de comunicação.

² Banco do Brasil, Santander, ABN Amro Real, BRDE, Caixa RS e Banrisul.

sustentabilidade, especialmente, por ser um “um indicador de boa administração, como forma de fomentar e criar valor” (Ribeiro, Pierot, & Corrêa, 2012, p. 63).

Apesar disso, Salles (2004) e Dantas e Leite (2009) alegam que as tarifas viabilizadoras de energia eólica no Brasil ainda são superiores as tarifas das outras energias, inclusive em relação às tarifas exigidas das usinas de biomassa.

No Brasil (...) a tarifa viabilizadora da energia eólica seria de R\$ 0,21 por kWh, equivalendo a uma tarifa de US\$ 0,10, com base na taxa de câmbio média de R\$ 2,03, (...) superior a tarifa de R\$ 0,15 exigida pelas usinas de biomassa. Porém, o relevante a ser analisado é que em muitos países a energia eólica já é viável com uma tarifa de US\$ 0,04 (Dantas & Leite, 2009, p. 1).

Pontua-se que a diminuição das taxas da energia eólica é um processo lento e requer uma mudança no foco setorial de energia (Dutra & Szklo, 2008b; Ratinen & Lund, 2012). Tais como bens ambientais, as energias limpas geram energia elétrica de fontes renováveis e não emitem ou emitem em menor quantidade na atmosfera: dióxido de carbono, monóxido de carbono, dióxido de enxofre, Clorofluorcarbono (CFC), dentre outras.

Particularmente, a energia eólica apresenta maiores vantagens, como a redução das emissões de gases de efeito estufa, o aumento da oferta de energia, a produção de energia sustentável em longo prazo, a criação de oportunidades de emprego e o desenvolvimento econômico localizado (Abramowski & Posorski, 2000; Araújo & Freitas, 2006; Delarue, Luickx, & D'haeseleer, 2009; Bryce, 2011).

Se por um lado, alguns países dirigiram suas políticas macroeconômicas para atingir o equilíbrio fiscal, ambiental, comercial e, sobretudo, para evitar que se desencadeasse também o desabastecimento de energia, estimulado pela crise econômica europeia, devido aos surtos do mercado imobiliário e, por conseguinte, ao estouro da bolha do mercado imobiliário americano, que inibiu investimentos em variados setores, incluindo o setor da energia eólica. Por outro lado, no Brasil, o mercado inovador no fornecimento de energia elétrica se depara com a alternativa eólica para suprir parte do abastecimento e se destacar como fonte viável e complementar à hidrelétrica (Dutra & Szklo, 2008a, 2008b; Nascimento, Mendonça, & Cunha, 2012; Ratinen & Lund, 2012).

Outro ponto a ser ponderado, especificamente no Brasil, face às políticas governamentais, é o novo modelo de leilão de energia elétrica proposto pelo governo federal, que vem estimulando diversas empresas a entrarem no setor eólico, incentivando a produção e a competitividade. Nesse sentido, cabe enquadrar os aspectos provenientes do formato de leilões de energia em estudos com vieses mercadológicos na energia eólica no Brasil, como parte do processo de inovação no setor.

2.3.1. Leilões de Energia Elétrica

Os modelos de leilões de energia elétrica, em compasso às novas perspectivas do mercado de eletricidade, têm visado maior competitividade entre geradoras e distribuidoras de energia, por meio do oferecimento de tarifas fixas, benefícios diversos e estabilidade. O início destas iniciativas deu-se em 2004, quando o governo brasileiro desenvolveu a base de uma nova regulamentação para o setor elétrico nacional, através de novos leis e decretos promulgados pelo PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia), que estipulou a eletricidade como um serviço de utilidade pública (Dutra & Szklo, 2008a; ANEEL, 2008; CNI, 2009).

Com efeito, este novo modelo tende a delimitar, paradoxalmente dinamizando, o processo de contratação de fontes de energia, pois não mais se permite que empresas de distribuição participem como produtoras de energia elétrica, somente estas podendo tomar parte como compradoras de energia. Em contrapartida, as regras desse sistema de leilões mantêm os parques eólicos protegidos da volatilidade do mercado energético (ANEEL, 2008; Costa & Pierobon, 2008).

Ocorridos na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), órgão responsável pela operação comercial de toda a energia comercializada no Brasil, os leilões de energia acontecem três vezes por ano, para todas as fontes de energia, incluindo a eólica desde 2004 (ANEEL, 2008). Estes leilões de venda e concessão de energia elétrica iniciam-se a partir de um preço teto, ou preço máximo, que decresce ao longo do processo de submissão dos lances, com um decremento de 5% a cada período de lances. Assim, de modo reverso, as empresas fazem ofertas de arrematamento cada vez menores até que não haja mais inserções de lances, no qual, encerra-se o leilão (ANEEL, 2008; Costa & Pierobon, 2008).

O que se data, em termos de alavancagem no setor de energia eólica brasileiro, através dos leilões ocorridos nos últimos anos, é que, com o novo modelo de leilões de energia, os incentivos governamentais e os proeminentes investimentos no setor eólico, baratearam-se os custos de produção. Em comparação ao primeiro leilão de energia eólica realizado em 2009, em que foram vendidos 2 GW por um valor médio de R\$ 148,39/MWh, os valores recentes mostram-se bem mais atrativos e competitivos, pois em 2011 foram vendidos 3 GW por um valor médio de R\$ 105,00/MWh, chegando alguns lotes a 99,54/MWh, um valor 67% abaixo do custo de produção verificado no ano de 2009 (ANEEL, 2012). E comparado ao mercado internacional, que tem um custo de geração de energia eólica em média de R\$ 169,20/MWh (CNI, 2009), depreende-se que, provavelmente, fatores ligados aos leilões podem ter auxiliado os produtores brasileiros de energia eólica a chegarem a menores custos de produção.

2.4. Energia Eólica no Rio Grande do Norte

O Brasil tem atualmente 218 MW de capacidade instalada de energia eólica, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2008, 2011), salientando que o potencial brasileiro para a geração de energia eólica é estimado na ordem de 350 GW (GWEC, 2010). Disso, a região nordeste apresenta a maior parte de concentração do potencial eólico brasileiro nos Estados do Rio Grande do Norte e do Ceará, os quais detêm 84,48% do total, sendo o Rio Grande do Norte o mais representativo da região com 42,95% (ANEEL, 2008, 2011).

Em contrapartida, a capacidade mundial de energia eólica já é de aproximadamente 160 GW, segundo a GWEC (2010), o suficiente para abastecer as necessidades básicas de dois países como o Brasil durante um mês – que consome em média 70 GW por mês. Ou seja, estimando que o Brasil possa vir a gerar a quantidade de energia que seu potencial eólico permite (350 GW), torna-se visível a enorme significância da energia eólica brasileira e, consequentemente, do Estado do Rio Grande do Norte, visto que, atualmente, o sistema gerador de energia do Brasil, incluindo todas as fontes de geração, produz cerca 113,4 GW.

Ainda, a energia eólica no Rio Grande do Norte passa por uma fase de expansão, devido aos diversos incentivos governamentais dados à produção eólica e ao seu potencial eólico. O litoral do Rio Grande do Norte, de acordo com o sistema *MesoMap*, tem um potencial médio anual de ventos, a 50m de altura, iguais ou superiores a 7,0m/s (Amarante et al., 2001), o que já revela-se bastante promissor. Além disso, no Brasil, tem se tornado uma tendência torres de 100 metros de altura, que captam ventos aproximadamente a 10 m/s. Esse tipo de torre já foi instalado nos mais recentes parques eólicos brasileiros e nos que estão sendo construídos no Estado do Rio Grande do Norte (CNI, 2009).

De modo complementar, Vidal et al. (2003) relatam que o aproveitamento da energia dos ventos pode alavancar o crescimento econômico e a autossustentabilidade energética do Rio Grande do Norte, gerando energia e qualidade de vida para a população da região, sendo estimado, também, um impacto futuro em todo o setor elétrico brasileiro.

Nesse sentido, cabe compreender a viabilidade econômica e mercadológica para o caso em questão no mercado brasileiro, investigando a formação dos preços da energia eólica e apontando as variáveis que interferem nesta formação, bem como encontrar explicações que abarquem a dimensão do mercado de eletricidade eólica do Rio Grande do Norte, como parte do sistema eólico brasileiro.

3. METODOLOGIA

A metodologia conduzida neste estudo, em formato teórico-empírico, partindo-se de uma formulação teórica sobre o tema e posterior análise empírica, pelo confrontamento da teoria com dados reais, define o estudo aqui realizado (Moura, 1978). Com vias a concretizar o objetivo de desenvolver um modelo de formação de preço da energia eólica no Rio Grande do Norte, a metodologia proposta compõe um estudo exploratório, com abordagens qualitativa e quantitativa, fundamentada por uma pesquisa documental de dados secundários. O intuito da pesquisa do tipo exploratória é examinar ou explorar determinado fenômeno para que se possa conhecê-lo e compreendê-lo (Malhotra, 2011).

Sendo tal abordagem, exploratória por natureza, esta:

Proporciona melhor visão e compreensão do cenário do problema em questão. Ela investiga o problema com algumas noções preconcebidas sobre o resultado dessa investigação (Malhotra, 2011, p. 122).

Ainda, Malhotra (2011, p. 34) afirma, sobre dados secundários, que estes “podem fornecer pontos de vista valiosos para o problema e levar à identificação de ações inovadoras”, sendo uma etapa essencial para o norteamento de pesquisas relacionadas a temáticas pouco exploradas, como é o caso da energia eólica em termos de formação de preço. Além de ser “uma fonte econômica e rápida de informações básicas” que “incluem informações disponibilizadas por fontes comerciais e governamentais” (Malhotra, 2011, p. 34).

Assim, nessa característica de estudo, buscar-se-á, de forma exploratória, teórica e empírica, descrever a formação de preços e suas respectivas variáveis de composição, a partir da compreensão das relações complexas acerca dos custos totais (equipamentos, manutenção, tarifas etc.), inovações tecnológicas, políticas públicas, regulamentos setoriais e questões socioambientais, aos quais caracterizam a constituição das variáveis explicativas do preço final da energia eólica.

A indução e a evidenciação empírica neste estudo são decorrentes das abordagens qualitativas, podendo servir como base de sustentamento aos componentes que explicam a formação de preço da energia eólica no Estado do Rio Grande do Norte. Isto é, a magnitude dos preços será corroborada a partir dos dados e informações colhidos, em que destes, poder-se-á obter resultados inferidos empiricamente.

Com relação ao teor investigativo na coleta de dados, considera-se que, em níveis de análise, este é do tipo exploratório e explicativo, com o propósito de aprofundamento no tema e delimitação de hipóteses, focado em seu objetivo. Para isso, identifica relações de causa e efeito entre as variáveis analisadas (Montgomery, 2000; Gil, 2012).

3.1 O Caso Estudado

A escolha por estudar a formação de preço no Estado do Rio Grande do Norte apresenta-se notória, ao ponto que a região se evidencia em termos de geração de energia eólica e se mostra como a opção que mais se destaca em relação ao potencial eólico brasileiro. Além disso, toda a região nordeste do Brasil, o qual o referido Estado faz parte, tem sido alvo de estudos de diversos autores quanto à viabilidade produtiva, ao potencial eólico e à geração de energia na região, tais como Silva et al. (2002), Vidal et al. (2003), De Maria, Costa e Sombra (2008), Lira, Silva e Alves (2011), Oliveira e Costa (2011) e Costa e Lyra (2012).

Para evidenciar a formação de preço no mercado de eletricidade da energia eólica no Estado do Rio Grande do Norte, o estudo partiu de premissas básicas, baseadas em um aporte teórico específico de formação de preço. Cabe ressaltar que a teoria aqui utilizada tem como fundamento a proposta de Lima, Oliveira, Oliveira et al. (2012), que impõe a interrelação de fundamentos da análise contábil, econômica, mercadológica e política da formação de preço, visando desenvolver um norteamento dos fatores internos e externos que compõem o preço.

Neste estudo, a energia eólica não emerge como mais um fator na disponibilidade de eletricidade, portanto, na oferta que afeta seu preço. Parte-se do pressuposto de que a rede de distribuição conta com outras fontes supridoras de eletricidade. Ou seja, o produto final é a eletricidade, cabendo apenas assimilar preços em sua plataforma inicial de fornecimento, a eólica.

3.2 Procedimentos e Coleta de Dados

Inicialmente, desenvolveu-se uma pesquisa exploratória e documental, em que foram coletados dados secundários de fontes governamentais acerca do setor e de empresas do ramo eólico. O estudo, devido ao seu formato teórico-empírico, permitiu o desenvolvimento de diversas análises empíricas e inferências, partindo-se do conhecimento de dados e informações coletadas sobre o setor eólico brasileiro e sua relação com a literatura abordada.

O processo de análise de dados, então, se deu, em seu fundamento, de modo explicativo e conclusivo, como forma de remate ao estudo teórico. Isto é, revisou-se a literatura específica, em seguida coletaram-se dados reais e, posteriormente, confrontou-os, criando uma teia de informações. Logo, encontraram-se fortes indícios e pressupostos em relação às temáticas estudadas, podendo-se

assim fazer considerações, sendo algumas puramente empíricas, e inferências a partir dessa teia de informações.

Em dado momento, tornou-se propício uma investigação da relação entre a produção de energia e o custo do equipamento utilizado, como complemento à análise da formação de preço da energia eólica. Nesta etapa, buscaram-se dados e informações técnicas com empresas fornecedoras³ de aerogeradores, em que se verificou que o equipamento de geração de energia eólica poderia vir a ser categorizado por níveis de produção.

Para categorizar a média e a pequena produção de energia, realizaram-se cotações de preço de turbinas eólicas por tipo, nos sítios eletrônicos das empresas fornecedoras de turbinas encontradas na rede mundial de computadores (internet). Em relação à grande produção de energia, como turbinas de parques eólicos, devido à falta de informações técnicas e de custos nos diversos meios investigados, optou-se por utilizar os dados do parque eólico de Osório, que são fornecidos pelo sítio eletrônico do próprio parque. Desse modo, analisaram-se os preços dos aerogeradores e das turbinas, incorporando o custo benefício de cada equipamento e as vantagens oferecidas pelas respectivas fornecedoras.

Por fim, na etapa de análise das variáveis que compõem o preço da energia eólica, levantaram-se dados de parques eólicos instalados ou em processo de instalação no Estado do Rio Grande do Norte. Assim, optou-se por investigar um parque eólico no Rio Grande do Norte que está sendo construído pelas empresas Pacific Hydro Energia do Brasil Ltda. e Vale S.A. (Pacific Hydro, 2012). Com a análise desses dados e das questões observadas no decorrer do estudo, desenvolveu-se considerações que puderam levar os autores à resposta do problema de pesquisa e à concretização dos objetivos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para se chegar aos resultados seguintes, tornou-se necessário compreender como se dava o sistema eólico como um todo, dentro do mercado brasileiro de energia. Para isso, o aporte teórico deste estudo levantou as características dos custos e variáveis de interferência à energia eólica. A seguir, serão descritas questões de preço na produção de energia eólica por aerogeradores individuais (residencial ou comercial) e parques eólicos, confrontando-os de modo a desenvolver projeções, que sirvam de base às considerações a cerca da formação do preço da energia eólica.

³ As empresas escolhidas para as cotações foram todas de fornecimento nacional, e as que tiveram equipamentos escolhidos foram as empresas Eólica Rio Ltda. e Energia Pura Ltda.

4.1. Produção de Energia Eólica: Custos e Valor da Energia

Para desenvolver uma projeção para a composição de custos e avaliação de preços, de modo a auxiliar as análises dos parques eólicos de produção de energia em escala, fez-se uma cotação dos preços de aerogeradores de autoprodução (residencial ou comercial) dentro do comércio eletrônico de aerogeradores. Através das cotações realizadas, identificaram-se três categorias de aerogeradores, os quais foram coletados dados dos aerogeradores de melhor custo-benefício em cada categoria, e confrontou-os com dados do Parque Eólico de Osório, sendo esta a quarta categoria (Tabela 4).

Tabela 4: Aerogeradores – Preço e Especificações por Categoria

Categoria	Aerogerador	Preço final	Padrões ⁵			Aplicação ⁶
			Produção	Ventos	Altura	
1	Air Breeze Marine ¹	R\$ 2.700,00	50 kWh/mês	6,5m/s	7 metros	1 casa/classe baixa
2	Skystream Land ²	R\$ 26.900,00	800 kWh/mês	9,4m/s	10 metros	4 casas/classe média ou 1 pequena empresa
3	Aerogerador 6000 ³	R\$ 52.380,00	6.000 kWh/mês	10m/s	21 metros	20 casas/classe alta ou 1 média empresa
4	Parque eólico de Osório ⁴	R\$ 670 milhões	402.077.420 kWh/mês	10m/s	100 metros	Cidade com 240 mil habitantes

Fonte: Dados da pesquisa.

Notas. ¹ Energia Pura Ltda. (2012); ² Energia Pura Ltda. (2012); ³ Enersud (2008); ⁴ 75 aerogeradores (Ventos do Sul Energia, 2009); ⁵ Ressalta-se que a produção de energia exige que os padrões de velocidade ventos e da altura das turbinas sejam corretamente utilizados; ⁶ Segundo estimativas de rendas de classes sociais, com médias de 50-100 kWh/mês por residência da classe baixa, 200 kWh/mês por residência da classe média, e 300 kWh/mês por residência da classe alta (Hansen, 2000).

Analizando a Tabela 4, percebe-se que à medida que as categorias de aerogeradores crescem em termos de produção de energia, seus custos de produção diminuem exponencialmente. Por exemplo, dividindo o preço final do aerogerador pela sua respectiva produção mensal de energia, o aerogerador da categoria 1 (compacto) mostra um custo de R\$ 54,00 por kWh, produzindo 50 kWh/mês, a ventos médios de 6,5m/s. O aerogerador da categoria 2 (pequeno porte), um custo de R\$ 33,62 por kWh, produzindo 800 kWh/mês, a ventos médios de 9,4m/s. O aerogerador da categoria 3 (médio porte), com potencial de geração 7,5 vezes maior que o da categoria 2, tem um custo de R\$ 8,73 por kWh, produzindo 6.000 kWh/mês, a ventos médios de 10m/s. Por sua vez, o parque eólico, categoria 4 (grande porte), tem um custo de R\$ 1,66 por kWh, com uma produção de 402.077.420 kWh/mês, a ventos médios de 10m/s.

Ainda, constatou-se que as empresas eletrônicas de fornecimento de aerogeradores e de turbinas de parques eólicos oferecem em seus pacotes manutenção vitalícia dos equipamentos. Isso permite aferir que, fora os custos de investimento, incluindo os custos de instalação e os impostos, não existem custos significantes de autoprodução, já que não há custos de energia e baixíssimos custos de manutenção.

Com efeito, vê-se notório que os custos com equipamento são os mais relevantes, em qualquer categoria de aerogeradores, como pode ser observado retomando-se a Tabela 2. Logo, depreende-se que para as análises da próxima seção, para a construção de um modelo de formação de preço da energia eólica, devem-se ter como um de seus componentes mais significativos os custos com equipamentos.

4.2 Formação de preço da energia eólica no Rio Grande do Norte

Segundo informações da empresa australiana Pacific Hydro (2012), a empresa Vale S.A. e a própria Pacific Hydro, em uma parceria estratégica do tipo Joint Venture, construirão parques eólicos no Estado do Rio Grande do Norte, em um investimento de R\$ 650 milhões, para uma capacidade instalada de 140MW, com concessão de 20 anos de produção de energia.

Para esse investimento total, o custo é de R\$ 4.642,00 por KW instalado, valor esse um pouco abaixo da média brasileira para os custos de investimento, que de acordo com Castro et al. (2010) é um custo aproximado ao valor de R\$ 6.128,70 por KW instalado – ou U\$ 3.000,00 com base na cotação do dólar de R\$ 2,0429 (BACEN, 2012).

Além disso, evidencia-se que, em 2011, os menores valores nos leilões para contrato da energia eólica chegaram a um custo de R\$ 99,54/MWh, com concessão de 20 anos (ANEEL, 2012). Análogo ao investimento de R\$ 650 milhões de um parque eólico no Rio Grande do Norte, para uma capacidade instalada de 140MW, tem-se um custo aproximado de R\$ 590,00/MWh⁴. Ou seja, a operacionalização do parque eólico, em termos de arrecadação por produção, seria cerca de 83% abaixo do seu custo.

Costa, Casotti e Azevedo (2009) e Garbe, Mello e Tomaselli (2011) ratificam, ainda, que relativo à energia eólica, nos últimos leilões de energia em âmbito nacional, os preços têm sido compelidos para baixo. Entretanto, Lema e Ruby (2007) alertam ainda que, em leilões de energia eólica realizados na China em 2002/2003, a baixa dos preços devido à competitividade, apresentou um prejuízo considerável no faturamento das empresas produtoras.

⁴ Cada MW de capacidade instalada gera aproximadamente 7.883 MWh.

A prerrogativa é de que à longo prazo, quando se deduzirem os custos de investimento, os lucros sejam bastante expressivos. Com efeito, os formatos de leilões no Brasil, configuram-se uma variável significativa na formação de preço da energia eólica, dado que esses leilões podem levar os produtores de energia a trabalharem com apurações em caixa que não cobrem os custos de produção, tendo em vista estratégias mercadológicas de longo prazo.

Por conseguinte, o formato de incentivo governamental às energias renováveis, mostra-se a variável mais qualitativa e empírica, porém, pertinente à formação de preço da energia eólica. Esses incentivos (subsídios, financiamentos e apoios por responsabilidade ambiental) compõem um sistema funcional de superação das barreiras provenientes de investimentos de alto custo inicial, pois impelem deduções de custos efetivos, ou desloca boa parte dos custos iniciais para os custos de longo prazo, possibilitando a redução do preço da energia (Dutra & Szklo, 2008a, 2008b).

Além disso, esses incentivos governamentais possibilitam a dedução de tarifas e a isenção de ICMS dos equipamentos eólicos e, por isso, justificam a baixa interferência das tarifas na composição do preço da energia eólica, mesmo caracterizados como um custo fixo evitado; pois, em caso de inexistência desses incentivos, as taxas e impostos teriam maior participação nos custos e na formação de preço de projetos eólicos.

Devido à dificuldade de valoração dessas externalidades já supracitadas, Kennedy (2005), Reis e Cunha (2006) e Berry 2009, propõem que deve se considerar os fatores externos de modo qualitativo, não devendo desprezar seu efeito na monetarização do sistema energético inteiro.

Quanto a isso, tomou-se como premissa, atribuir um valor representativo a essas externalidades – leilões e incentivos governamentais – na formação de preço da energia eólica. A análise qualitativa permite que se façam projeções, à medida que estas se equiparam à realidade. Nesse sentido, ao se dar um peso igual às variáveis que compõem o preço, e ponderando somente as variáveis que possuem participação nos custos as suas respectivas porcentagens dos custos totais, tem-se um valor. Esse valor serve, tão somente, para uma análise empírica de participação dessas variáveis à formação de preço da energia eólica.

Elencaram-se na Tabela 5 oito variáveis de interferência na formação do preço da energia eólica, sendo seis de cunho quantitativo e duas de cunho qualitativo. Assim, um peso igual a todas as oito variáveis empenha uma porcentagem de 12,5% a cada variável na formação do preço. No entanto, ao se deslocar duas das variáveis qualitativas (leilões e incentivos governamentais), e ponderar as variáveis quantitativas que têm participação nos custos, estas últimas formam um novo conjunto que representa 75% do total das variáveis. Assim, os equipamentos que representam 75% dos custos, por

sua vez, representam 75% de participação no preço. Logo, os equipamentos poderiam, por esse método, ter uma participação estimativa no preço de 56,25%, como pode ser visualizado na Tabela 5.

Tabela 5: Variáveis que compõem o preço da energia eólica

Variáveis (quantitativas e qualitativas)	Participação nos custos ¹	Valor em R\$ ² (milhões)	Status de participação ³	Participação no preço ⁴
Equipamentos	75%	R\$ 478,5 mi	Agrega ao preço	56,25%
Local de instalação	8%	R\$ 52 mi	Agrega ao preço	6%
Operação e Manutenção (incluindo manutenção)	5%	R\$ 32,5 mi	Agrega ao preço	3,75%
Tarifas (incluindo deduções fiscais)	5%	R\$ 32,5 mi	Agrega ao preço	3,75%
Interconexão Elétrica	4%	R\$ 26 mi	Agrega ao preço	3%
Custos adicionais	3%	R\$ 19,5 mi	Agrega ao preço	2,25%
Incentivos governamentais (subsídios, financiamentos e apoios por responsabilidade ambiental)	Não se aplica	–	Reduz o preço	12,5%
Leilões (competição)	Não se aplica	–	Reduz o preço	12,5%
TOTAL	100%	R\$ 650 mi	–	100%

Fonte: Dados da pesquisa.

Notas. ¹ Salles (2004); ² Valores reportados da Pacific Hydro (2012), para um investimento de R\$ 650 milhões; ³ Análise empírica e qualitativa dos autores; ⁴ Análise empírica dos autores.

A partir da Tabela 5 e dos apontamentos abordados anteriormente, mesmo que não se considere o método aqui utilizado – de ponderação simples –, para representar as variáveis que compõem o preço da energia eólica em porcentagens, face às limitações metodológicas; torna-se claro à compreensão, que uma análise puramente empírica dessas variáveis elencadas na Tabela 5 é suficiente para se apontarem quais variáveis têm maior interferência na formação de preço da energia eólica no Rio Grande do Norte.

Nesse sentido, o valor da energia eólica em seu modelo estrutural aponta para três variáveis bases de interferência na formação do preço desta. Como avaliada tais variáveis anteriormente nesta sessão, estas se evidenciam caracterizadas por (1) custos com equipamentos (turbinas, torres, equipamentos elétricos etc.); (2) os incentivos governamentais (subsídios, financiamentos e apoios por responsabilidade ambiental); e (3) o formato de competitividade dos leilões de energia elétrica no Brasil. A compreensão dessas variáveis demonstra atributos internos e externos em seu fundamento, ou seja, a formação de preço da energia eólica requereu análises sistematicamente abrangentes para se pontuar as variáveis de interferência, mesmo sendo esta uma análise específica.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da formação de preço da energia eólica no Estado do Rio Grande do Norte teve como fundamento o desenvolvimento de um modelo de formação de preço, de base teórica e empírica, a partir da descoberta de quais variáveis interferem no preço dessa inovação tecnológica. Para as análises, coube à pesquisa, como premissa, a observância do ambiente que seria estudado, neste caso, o Brasil. Verifica-se que no Brasil existem regulamentos e leis energéticos específicos do país, válidos a todos os estados, tornando diversos fatores de nível nacional, também relevantes para a análise no Rio Grande do Norte.

Com isso, puderam-se identificar as principais variáveis que compõem o preço da energia eólica e que agem na construção de um valor final. Essencialmente, o preço da energia eólica tem sua formação pelos custos com equipamentos, devido à tecnologia eólica que ainda é cara e impõe problemáticas de produção, armazenamento e distribuição; aos incentivos governamentais, baseado em apoios fiscais e financiamentos aos projetos eólicos das produtoras de energia; e à competitividade que é gerada a partir do formato de leilões de energia elétrica, que leva muitos produtores a comercializarem a energia abaixo do preço de custo.

Nesse sentido, depreende-se que o preço da energia eólica envolve todo o sistema energético, pois o setor eólico se concebe por uma evolução tecnológica e socioambiental em todo o mundo. Além de que, cada país possui os seus próprios modelos de incentivos, programas de apoio e políticas específicas ao setor.

Portanto, apesar da literatura apontar o Rio Grande do Norte como o estado de maior potencial eólico no Brasil – o que incentivou o desenvolvimento deste estudo – e dos custos com equipamentos terem diminuído através do aprendizado tecnológico, depreendeu-se que a adoção dessa inovação no mercado de eletricidades depende também de uma viabilidade político-econômica. Isso se dá, porque os custos de produção da energia eólica, devido ao investimento inicial, ainda são altos. Assim, à medida que o preço dessa energia, baseando-se em seu custo, torna-se inviável ao consumidor final, outros fatores balizam o equilíbrio do seu preço.

Como foi compreendido pelos dados da pesquisa, parte dos investimentos em projetos eólicos estão sendo financiados por diversas instituições financeiras, logo, os custos iniciais desses projetos tendem a diminuir. Ou seja, possivelmente no futuro, os custos de investimentos com equipamentos eólicos não serão mais visualizados como uma problemática de produção e implantação, possibilitando novos produtores no setor, em face de perspectivas de lucro a um menor prazo de retorno.

Tendo em vista essa perspectiva no mercado energético brasileiro, o segmento eólico torna-se uma alternativa viável economicamente para o setor, além de sua característica de suporte às questões socioambientais. Isso demonstra que o estudo da formação de preço da energia eólica como processo de gestão energética, ainda como uma inovação sustentável, configura-se como necessário para complementar a difusão e o uso deste tipo de energia e promover diretrizes que conduzam o planeta a uma inovação tecnológica que reduz impactos ambientais, que esteja também associada a interesses econômicos.

A temática em análise ainda é recente em termos de estudos produzidos, especialmente relacionados à formação de preço da energia eólica. Os poucos estudos que circundam o assunto, em geral, possuem um foco voltado para as análises de custos, ou ainda tratam o assunto negligentemente, sem estruturas metodológicas consistentes. No decorrer do estudo, evidenciou-se que a literatura é extensa sobre questões sociais, políticas e ambientais da energia eólica, na qual, a maior quantidade de publicações é em áreas técnicas e em perspectivas ambientais e sustentáveis.

As limitações deste estudo advêm de problemas como a falta de um banco de dados sobre variação e classificação de custos e valores de fluxo monetário de parques eólicos, o que possibilitaria um estudo mais aprofundado e pontual sobre os fatores determinantes na formação do preço da energia eólica, por meio de análises de variância (ANOVA), regressão logística, dentre outros modelos de análise – como evidenciado em estudos sobre a formação de preço do Etanol por Lima, Oliveira, Queiroz et al. (2012) e da Soja por Margarido e Souza (1998). Além disso, faltam estudos sobre a energia eólica no sistema energético brasileiro, principalmente em linhas mercadológicas. Cabe ressaltar que o modelo proposto aqui de formação de preço da energia eólica é específico para o setor eólico brasileiro.

Por outro lado, pode-se afirmar que tais limitações apresentam-se como uma abertura para o aprofundamento do tema, e tampouco impossibilitou a concretização dos objetivos deste estudo. Assim, partindo dos resultados obtidos, recomenda-se que se desenvolvam pesquisas voltadas para as limitações deste estudo, dando atenção aos pontos justamente aqui não abordados. Logo, tornar-se-á este trabalho o ponto inicial para novos estudos sobre o preço da energia eólica. Também, incentiva-se que se estudem outras fontes de energia renováveis e que se comparem os dados dos diversos modelos de geração de energia, evidenciando a viabilidade econômica e mercadológica e as variáveis de composição do preço, possibilitando ao setor energético brasileiro e mundial um aporte de conhecimentos consistentes sobre o tema.

REFERÊNCIAS

- Abramowski, J., & Posorski, R. (2000). Wind energy in developing countries. *DEWI Magazin*, 16, p. 46-53.
- Abul'Wafa, A. R. (2011). Reliability/cost evaluation of a wind power delivery system. *Electric Power System Research*, 81(4), p. 873-879.
- Amarante, O., Brower, M., Zack, J., & Sá, A. L. (Org.). (2001). *Atlas do potencial eólico brasileiro*. Brasília: CRESESB / ELETROBRAS / CEPEL / MME.
- Agencia Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. (2008). *Atlas de energia elétrica do Brasil*. (3a ed.). Brasília: ANEEL, 236 p.
- _____. (2011). *Resumo geral das usinas*. Brasília: ANEEL.
- _____. (2012). *Processo nº 48500.006741/2011-51: regulamentação do Art. 21 da Lei nº 11.943 de 28 de maio de 2009*. [On-line]. (Fls. 1-7 da nota técnica nº 002/2012-SRG/ANEEL, de 13/01/2012). Disponível em: http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2012/023/documento/nt_002-2012-srg-aneel.pdf. Acesso em: 12 Set. 2012.
- Araújo, M., & Freitas, M. (2006). Acceptance of renewable energy innovation in Brazil: case study of wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(2), p. 584-591.
- Banco Central do Brasil - BACEN. (2012). Cotação do dólar em 28/12/2012. [On-line]. Disponível em: www4.bcb.gov.br/pec/taxas/batch/taxas.asp?id=txdolar. Acesso em: 28 Dez. 2012.
- Barbieri, J. C., Vasconcelos, I. F. G. de, Andreassi, T., & Vasconcelos, F. C. de. (2010). Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições. *Revista de Administração de Empresas*, 50(2), p. 146-154.
- Berry, D. (2009). Innovation and the price of wind energy in the US. *Energy Policy*, 37(11), p. 4493-4499.
- Bryce, R. (2011). The high cost of wind energy as a carbon-dioxide reduction method. *Manhattan Institute for Policy Research*, 11, p. 1-9.
- Castro, N. J. de, Dantas, G. de A., Leite, A. L. da S., & Goodward, J. (2010). Perspectivas para la energía eólica en Brasil. *Texto de discussão do setor elétrico*, n. 18. Rio de Janeiro: Agência Canal Energia.
- Confederação Nacional da Indústria - CNI. (2009). *Energia eólica: panorama mundial e perspectivas no Brasil*. Brasília: CNI, 34 p.
- Costa, G. B., & Lyra, R. F. da F. (2012). Análise dos padrões de vento no estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 27(1), p. 31-38.
- Costa, R. A., Casotti, B. P., & Azevedo, R. L. S. (2009). Um panorama da indústria de bens de capital relacionados à energia eólica. *BNDES Setorial*, 29, p. 229-278.

Costa, R. C. da, & Pierobon, E. C. (2008). Leilão de energia nova: análise da sistemática e dos resultados. *BNDES Setorial*, 27, p. 39-58.

Dantas, G. de A., & Leite, A. L. da S. (2009). *Os custos da energia eólica brasileira*. Grupo de estudos do setor elétrico/UFRJ. Rio de Janeiro: Agência Canal Energia.

De Maria, P. H. S., Costa, A. A., & Sombra, S. S. (2008). Modelagem numérica em alta resolução para previsão de geração de energia eólica no Ceará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 23(4), p. 477-489.

Delarue, E. D., Luickx, P. J., & D'haeseleer, W. D. (2009). The actual effect of wind power on overall electricity generation costs and CO₂ emissions. *Energy Conversion and Management*, 50(6), p. 1450-1456.

Dutra, R. M., & Tolmasquim, M. T. (2002). Estudo de viabilidade econômica para projetos eólicos com base no novo contexto do setor elétrico. *Revista Brasileira de Energia*, 9(1), p. 135-158.

Dutra, R. M., & Szklo, A. S. (2008a). Incentive policies for promoting wind power production in Brazil: scenarios for the alternative energy sources incentive program (PROINFA) under the new Brazilian electric power sector regulation. *Renewable Energy*, 33(1), p. 65-76.

_____. _____. (2008b). Assessing long-term incentive programs for implementing wind power in Brazil using GIS rule-based methods. *Renewable Energy*, 33(12), p. 2507-2515.

Energia Pura Ltda. (2012). Tabela de preços de aerogeradores. [On-line]. In: Energia Pura Ltda. Disponível em: <https://www.energiapura.com/categoria/1>. Acesso em: 17 Out. 2012.

ENERSUD. (2008). Tabela de preços dos aerogeradores e acessórios. [On-line]. In: Eólica Rio Ltda. Disponível em: http://www.eolicario.com.br/energia_eolica_precos.html. Acesso em: 17 Out. 2012.

Garbe, E. A., Mello, R. de, & Tomaselli, I. (2011). Projeto conceitual e análise de viabilidade econômica de unidade de geração de energia elétrica eólica na Lagoa dos Patos – RS. *Economia e Energia*, 83, p. 24-48.

Gil, A. C. (2012). *Métodos e técnicas de pesquisa social*. (6a ed.). São Paulo: Atlas.

Global Wind Energy Council - GWEC. (2010). *Global wind report: annual market update 2010*. Brussels: GWEC.

Gökçek, M., & Genç, M. S. (2009). Evaluation of electricity generation and energy cost of wind energy conversion systems (WECSs) in Central Turkey. *Applied Energy*, 86(12), p. 2731-2739.

Göransson, L., & Johnsson, F. (2011). Large scale integration of wind power: moderating thermal power plant cycling. *Wind Energy*, 14(1), p. 91-105.

Hansen, A. M. D. (2000). *Padrões de consumo de energia elétrica em diferentes tipologias de edificações residenciais, em Porto Alegre*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 137 p.

Kennedy, S. (2005). Wind power planning: assessing long-term costs and benefits. *Energy Policy*, 33(13), p. 1661-1675.

- Lema, A., & Ruby, K. (2007). Between fragmented authoritarianism and policy coordination: creating a Chinese market for wind energy. *Energy Policy*, 35(7), p. 3879-3890.
- Lewis, G. M. (2010). Estimating the value of wind energy using electricity locational marginal price. *Energy Policy*, 38(7), p. 3221-3231.
- Lewis, J., & Wiser, R. (2007). Fostering a renewable energy technology industry: an international comparison of wind industry policy support mechanisms. *Energy Policy*, 35(3), p. 1844-1857.
- Lima, N. C., Oliveira, S. V. W. B., Oliveira, M. M. B., Queiroz, J. V., & Furukava, M. (2012). Pricing: an accounting treatment, economic and political marketing. *International Journal of Business and Commerce*, 2(1), p. 40-53.
- Lima, N. C., Oliveira, S. V. W. B., Queiroz, J. V., Furukava, M., & Queiroz, F. C. B. P. (2012). Formation of the hydrated ethanol's prices in the combustible Brazilian market. *Asian Journal of Business and Management Sciences*, 2(4), p. 23-32.
- Lira, M. A. T., Silva, E. M. da, & Alves, J. M. B. (2011). Estimativa dos recursos eólicos no litoral cearense usando a teoria da regressão linear. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 26(3), p. 349-366.
- Malhotra, N. K. (2011). *Pesquisa de marketing: foco na decisão*. (3a ed.). São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- Margarido, M. A., & Sousa, E. L. L. de. (1998). Formação de preços da soja no Brasil. *Agricultura em São Paulo*, 45(2), p. 52-61.
- Martins, F. R., Guarnieri, R. A., & Pereira, E. B. (2008). O aproveitamento da energia eólica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30(1), 1304/1-1304/13.
- Meyer, N. (2007). Learning from wind energy policy in the EU: lessons from Denmark, Sweden and Spain. *European Environment*, 17(5), p. 347-362.
- Mills, A., Wiser, R., & Porter, K. (2012). The cost of transmission for wind energy in the United States: a review of transmission planning studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), p. 1-19.
- Montgomery, D. C. (2000). *Design and analysis of experiments*. (5a ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Moura, C. C. (1978). *A prática da pesquisa*. São Paulo: McGraw-Hill.
- Nascimento, T. C., Mendonça, A. T. B. de, & Cunha, S. K. da. (2012). Inovação e sustentabilidade na produção de energia: o caso do sistema setorial de energia eólica no Brasil. *Cadernos EBAPE.BR*, 10(3), p. 630-651.
- Oliveira, J. L., & Costa, A. A. (2011). Estudo da variabilidade do vento em escala sazonal sobre o nordeste brasileiro utilizando o RAMS: os casos de 1973-1974 e 1982-1983. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 26(1), p. 53-66.
- Pacific Hydro. (2012). Vale e Pacific Hydro formam joint venture em energia eólica. [On-line]. In: Pacific Hydro Energia do Brasil Ltda. Disponível em: <http://pacifichydro.com.br/2012/06/22/vale-e-pacific-hydro-formam-joint-venture-em-energia-eolica/?language=pt>. Acesso em: 22 Dez. 2012.

Ratinen, M., & Lund, P. (2012). Analyzing changes in electricity industries against actors and technologies: utility to business transformations in Denmark, Germany, Finland and Spain. *Journal of Technology Management & Innovation*, 7(2), p. 87-101.

Reis, L. B. dos, & Cunha, E. C. N. da. (2006). *Energia elétrica e sustentabilidade: aspectos tecnológicos, socioambientais e legais*. Barueri: Manole.

Ribeiro, H. C. M., Pierot, R. M., & Corrêa, R. (2012). Projeto de mecanismo de desenvolvimento limpo: um estudo de caso na empresa de energia eólica do estado do Piauí. *Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade*, 2(2), Ed. Especial Rio+20, p. 61-75.

Salles, A. C. N. (2004). *Metodologias de análise de risco para avaliação financeira de projetos de geração eólica*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

Silva, B. B. da, Alves, J. J. A., Cavalcanti, E. P., & Dantas, R. T. (2002). Potencial eólico na direção predominante do vento no nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 6(3), p. 431-439.

Silva, N. F. da, Rosa, L. P., & Araújo, M. R. (2005). The utilization of wind energy in the Brazilian electric sector's expansion. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 9(3), p. 289-309.

Ventos do Sul Energia. (2009). O projeto. [On-line]. In: Ventos do Sul Energia S.A. Disponível em: <http://www.ventosdosulenergia.com.br/highres.php>. Acesso em: 22 Dez. 2012.

Vidal, M. J. B., Amarante, O. A. C., Silva, F. J. L., & Rios Filho, L. G. (2003). *Potencial eólico do estado do Rio Grande do Norte*. Brasília: COSERN/ANEEL.

Yang, W., Tavner, P. J., Crabtree, C. J., Feng, Y., & Qiu, Y. (2012). Wind turbine condition monitoring: technical and commercial challenges. *Wind Energy*, 15(8), Special issue paper.

ENERGY MANAGEMENT AND SUSTAINABLE INNOVATION: THE FORMATION OF PRICE OF WIND ENERGY IN THE STATE OF RIO GRANDE DO NORTE

ABSTRACT

The world energy scene in recent years has been undergoing a process of change due to rising fossil fuel prices and environmental impacts, prompting numerous studies and investments in wind energy. Thereto, the state of Rio Grande do Norte has received several investments with the construction of new wind farms in the region in view of it has the greatest wind potential of Brazil, which in turn has boosted the industry with specific policies to renewable energy production. Accordingly, the following article aims to develop a model for pricing of wind energy in the state of Rio Grande do Norte within the process of energetic management of this sustainability. In theoretical and empirical format through an exploratory and explanatory methodology, were found results that show and define the main variables that affect the price of wind energy, which are: the equipment costs, government incentives and the Brazilian format of competitiveness in auctions of electricity system.

Keywords: Pricing; Wind Energy; Energetic Management; Sustainability Innovation; Rio Grande do Norte.

Data do recebimento do artigo: 18/03/2014

Data do aceite de publicação: 19/09/2014