

# APROVEITAMENTO DE MICROGERADORES EÓLICOS EM COMUNIDADES CARENTES

**Fabício Silva do Nascimento**

Graduando em Engenharia de Petróleo pelo Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
fabricio1991\_05@hotmail.com

**Anton Lourenço Mazon Rosa Rangel**

Graduando em Ciência da Computação pelo Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
antonmr95@gmail.com

**Jorge Audrin Morgado de Goes**

Doutor em Engenharia Mecatrônica pela Universitat Duisburg-Essen (UNIDUE), Duisburg, Alemanha  
audrin@ime.eb.br

**Antônio Luis dos Santos Lima**

Doutor em Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
Professor do Mestrado em Desenvolvimento Local do Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
engenhariadepetroleo@unisuam.edu.br

**André Luiz Tenório Rezende**

Doutor em Engenharia Mecânica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
Professor do Curso de Ciência da Computação do Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
andrel@unisuamdoc.com.br

## RESUMO

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma metodologia simplificada da análise econômica da possível aplicação de um ou mais aerogeradores em comunidades carentes e fazer um programa computacional que facilite o uso desta metodologia. Com isso, pretende-se verificar o possível aproveitamento da energia eólica nestes locais e determinar parâmetros relevantes ao projeto, tais como o investimento requerido e o seu tempo de recuperação. Um estudo de caso proposto neste artigo mostra a vantagem da aplicação da energia eólica.

**Palavras-chave:** Energia eólica. Simulação computacional. Viabilidade econômica.

## UTILIZATION OF WIND POWER IN POOR COMMUNITIES

### ABSTRACT

This paper presents a simplified methodology of economic analysis of the possible application of one or more wind turbines in poor communities and make a software that facilitates the use of this methodology. Thus, this work intend to test the possible use of wind power in these locations and determine parameters relevant to the project, such as the required investment and its recovery time. A case study in this paper shows the advantage of the application of wind power.

**Keywords:** Wind power. Computer simulation. Economic viability.

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de tecnologias de energia compatíveis com o meio ambiente foi acelerada em resposta à crescente preocupação dos impactos das mudanças climáticas (ANADON et al., 2016). A inovação aplicada a estas tecnologias leva à redução de custos é fundamental para promover intervenções políticas (LUNDMARK; BACKSTROM, 2015). Tais intervenções políticas podem ser justificada com base na aprendizagem tecnológica, que é o fenômeno em que o custo de uma tecnologia diminui à medida que o tempo de uso da instalação da tecnologia aumenta (DUTTON; THOMAS, 1984). Políticas de tecnologia devem estimular a inovação e custos iniciais maiores poderão ser recuperados ao longo prazo após a aprendizagem tecnológica bem sucedida. Sem medidas políticas adequadas para novas tecnologias, as tecnologias atuais iria, contudo, manter a sua vantagem competitiva e permanecer bloqueada em uma situação confiando em tecnologias que podem não ser ambientalmente amigável (KLAASSEN et al., 2005). No passado, a tecnologia de políticas, tais como subsídios para contratação e apoio público de P & D têm desempenhado um papel-chave na promoção da inovação, reduzindo o custo de tecnologias ambientalmente eficazes (RATNEN; LUND, 2015).

Este trabalho se concentra em energia eólica, que atualmente é uma das fontes de energia de mais rápido crescimento e uma alternativa livre de carbono com relação as tecnologias de combustíveis fósseis tradicionais (HIRTH, 2013).

A resolução da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aprovada em abril de 2012, trouxe um sistema de compensação de energia (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012). O estudo de caso considerado utilizará um aerogerador que será aplicado à comunidade carente de Barra de Guaratiba, no município do Rio de Janeiro. O estudo é realizado com base em dados anemométricos desta região obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

## 2 DESENVOLVIMENTO

A curva de potência de um aerogerador fornece a potência gerada para cada velocidade do vento. O fator de capacidade é definido pela razão entre a produção média do aerogerador e a sua produção máxima (com potência nominal), se operada constantemente à plena capacidade. Está representada na equação 1.

$$FC = \frac{E}{8760 \times P_n} ; E = \frac{\sum p(v) \times f(v)}{\sum f(v)} \times 8760 \quad (1)$$

Onde E é a energia gerada média anual (em MWh/ano),  $P_n$  é a potência nominal (em kW), lembrando que o fator 8760 significa o número de horas em 1 ano,  $p(v)$  é a potência produzida (em kW) com a velocidade  $v$  (em m/s) e  $f(v)$  é a função densidade de probabilidade da velocidade  $v$ , extraída do histograma de velocidades. O fator de capacidade é a eficiência do aerogerador, e varia diretamente com o potencial eólico.

Da equação 1, observa-se que só há geração no intervalo entre as velocidades de saída e de corte do aerogerador, fora desse intervalo a geração é nula (DUTRA, 2002).

### 2.1 Análise de dados anemométricos

A abordagem probabilística mais comum é a de Weibull cuja função de distribuição tem dois parâmetros. As frequências de velocidades dos ventos podem ser descritas pela função (WEIBULL, 1951):

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \tag{2}$$

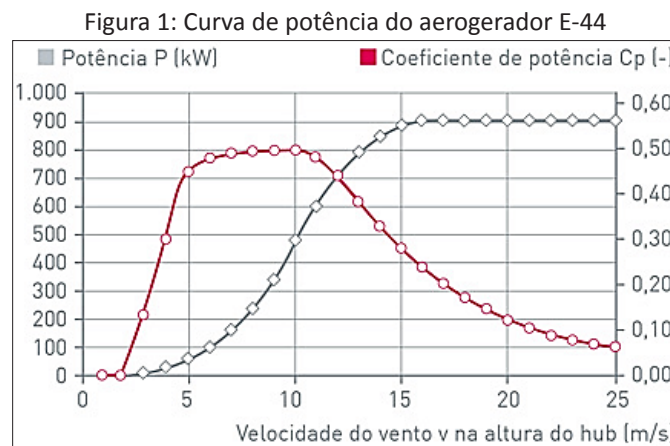
Onde c é o parâmetro de escala, k é o parâmetro de forma, e v é a velocidade do vento (em m/s). O valor médio da variável estocástica (velocidade do vento) para Weibull é:

$$\bar{v} = c\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right); \quad k = \left(\frac{\sigma}{\bar{v}}\right)^{-1,086}; \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (v - \bar{v})^2}; \quad \bar{v} = \frac{\sum v}{n} \tag{3}$$

Onde  $\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)$  representa a função gama de  $1 + \frac{1}{k}$ , constantes c e k da função de Weibull,  $\sigma$  é o desvio padrão, n é o número de aferições e  $\bar{v}$  é a média da distribuição (em m/s).

### 2.2 Estudo de caso

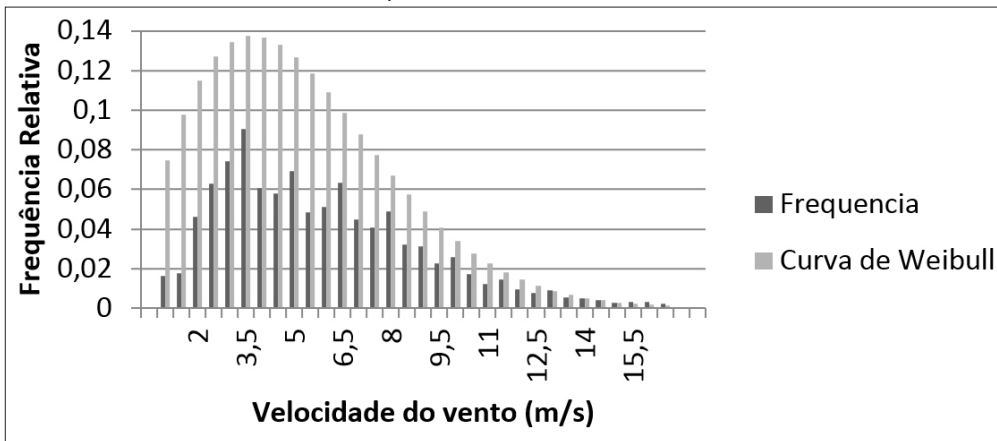
Será utilizado como base o aerogerador E-44, de 900kW, da Wobben Windpower, cuja curva de potência é encontrada na figura 1.



Os dados coletados pelo INMET foram medidos a uma altura de 9,7 m, mas a torre do aerogerador E-44 possui 50 m. Portanto, é necessária a extrapolação dos valores (LINARD, 2010), segundo o perfil logarítmico dos ventos, até a altura da torre do aerogerador. Para isso, para os parâmetros  $h_{ref} = 9,7$  m e  $h = 50$  m, obtém-se os seguintes valores para as constantes de Weibull e velocidade média:  $k = 1,78$ ;  $c = 5,81$ ;  $\bar{v} = 5,22$ .

Então, a partir dos novos dados encontrados, o histograma de velocidades, e o ajuste da curva de Weibull, encontrados na figura 2.

Figura 2: Histograma de velocidades em Barra de Guaratiba e curva de Weibull associada, para o ano de 2010, a uma altura de 50m



Fonte: Os autores.

Para se montar o fluxo de caixa referente ao projeto, é necessário ainda estimar os custos envolvidos; tanto os iniciais, como o preço do aerogerador, quanto os gastos requeridos ao longo da sua vida útil, como os de operação e manutenção (O&M).

O preço do aerogerador representa o custo mais importante e significativo de um projeto eólico. O custo de um aerogerador de 900kW é cerca de R\$ 2.000.000,00 (FADIGAS, 2012). O valor previsto para a manutenção do aerogerador é cerca de 3% ao ano do valor do investimento original, de acordo com dados estatísticos de projetos anteriores (TSAKNIAS, 2010). Estima-se então o custo médio de manutenção neste caso como R\$60.000,00/ano.

A partir da Equação 2, e de posse da curva de potência do aerogerador e do histograma de velocidades da região, a energia produzida anualmente pelo aerogerador, o valor calculado foi 1.406,332MWh/ano. Com o uso da Equação 1, o fator de capacidade do referido aerogerador é igual a 17,83%.

Os principais aspectos abordados para a análise econômica do projeto encontram-se na Tabela 1, obtido através do algoritmo computacional desenvolvido em Java. É considerado nesse estudo a taxa de juros anual de valor 7,25%, referente ao ano de 2013, de acordo com o Banco Central do Brasil (2015); a região conta atualmente com o abastecimento de energia elétrica oriundo da concessionária LIGHT, a um custo de R\$ 462,68/MWh; a vida útil do aerogerador será considerada 20 anos, de acordo com o fabricante.

Tabela 1: Dados abordados no projeto

Custo aerogerador	2.000.000,00	R\$
Custo manutenção	60.000,00	R\$/ano
Vida útil	20	anos
Preço da energia	462,68	R\$/MWh
Taxa de juros	0,0725	a.a.
Potência	900	kW

Consumo energético anual	809,259	MWh/ano
Energia gerada pelo aerogerador	1.406,332	MWh/ano

Fonte: Os autores.

De posse dos custos iniciais do projeto, pode-se calcular, ao longo da sua vida útil, o custo anual nivelado, fazendo uso do fator de recuperação de capital (BUARQUE, 1984):

$$R = \frac{P \cdot i \cdot (1+i)^n}{[(1+i)^n - 1]} \quad (4)$$

Em que P é o investimento total, R é a retirada anual para que se recupere o investimento P, i é a taxa de juros anual e n é a vida útil do projeto. Neste caso o valor de R é 192.469,68 R\$/ano que, somado ao custo anual de manutenção, resulta num montante de 252.469,68 R\$/ano. Obtido o custo anual necessário para recuperação do capital investido e a geração anual de energia, o custo do MWh pode ser facilmente calculado pela razão entre estes dois valores. O valor para o preço da energia neste caso seria 179,52 R\$/MWh, menos do que a metade do valor cobrado pela concessionária, de R\$462,68/MWh. Conhecendo-se os custos da energia gerada pelo aerogerador e da energia fornecida pela concessionária, pode-se estimar a economia trazida ao investidor, que seria a diferença das tarifas multiplicada pelo consumo energético. Em média, esta economia seria de 229.147,00 R\$/ano. Aplicando-se então o valor da economia média anual como forma de entrada para o projeto num fluxo de caixa, conclui-se que o valor presente líquido (VPL) passa a ser positivo entre o 15º e 16º ano.

### 3 CONCLUSÕES

A metodologia proposta foi simulada computacionalmente através do algoritmo implementado em linguagem de programação Java. No caso da implantação de um aerogerador E-44 de marca Wobben Windpower, o valor pago por MWh seria reduzido a menos da metade, passando de 462,68 R\$/MWh para 179,52 R\$/MWh, e o investimento seria recuperado em 15 anos, um período que, apesar de longo, não supera a vida útil do aerogerador, e poderia ser reduzido se fossem alterados fatores como a taxa de juros do investimento. Além disso, a comunidade de Barra poderia usufruir dos créditos de energia previstos pela nova resolução da ANEEL, uma vez que haveria geração de energia excedente que, por sua vez, poderia ser jogada na rede pública.

### REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Resolução normativa n. 482, de 17 de abril de 2012. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 19 abr. 2012. Seção 1, p. 53.

ANADON, L. D. et al. Expert views (and disagreements) about the potential of energy technology R&D. **Climatic Change**, Amsterdam, v. 136, n. 3, p. 677-691, 2016.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Histórico das taxas de juros no Brasil**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/?COPOMJUROS>>. Acesso em: 28 out. 2015.

BUARQUE, C. **Avaliação econômica de projetos**. Rio de Janeiro: Campus, 1984.

DUTRA, R. M. **Viabilidade técnico-econômica da energia eólica face ao novo marco regulatório do setor elétrico brasileiro**. 2001. 271 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

DUTTON, J. M.; THOMAS, A. Treating progress functions as a managerial opportunity. **Academy of Management Review**, New York, v. 9, n. 2, p. 235-247, 1984.

FADIGAS, E. A. F. A. **Energia eólica**. São Paulo: Manole, 2012.

HIRTH, L. The market value of variable renewables: The effect of solar wind power variability on their relative price. *Energy Economics*, Brighton, v. 38, p. 218-236, 2013.

KLAASSEN, G. et al. The impact of R&D on innovation for wind energy in Denmark, Germany and the United Kingdom. *Ecological Economics*, New Hampshire, v. 54, n. 2/3, p. 227-240, 2005.

LINARD, F. J. A. **Estimativas da velocidade do vento em altitude usando o software windowgrapher**. 2010. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2010.

LUNDMARK, R.; BACKSTROM, K. Bioenergy innovation and energy policy. *Economics of Innovation and New Technology*, Torino, v. 28, n. 8, p. 755-775, 2015.

RATNEN, M.; LUND, P. Policy inclusiveness and niche development: examples from wind energy and photovoltaics in Denmark, Germany, Finland, and Spain. **Energy Research and Social Science**, Sussex, v. 6, p. 136-145, 2015.

TSAKNIAS, D. **Cost benefit analysis of the installation of a wind turbine on a naval ship**. 2010. 133 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Naval Postgraduate School, California, 2010.

WEIBULL, W. A statistical distribution function of wide applicability. **Journal of Applied Mechanics**, Evaston, v. 18, p. 294-297, 1951.

Recebido em: 8 jun. 2016.

Aprovado em: 15 jun. 2016.