

REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

Análise comparativa de custos e tarifas de energias renováveis no Brasil¹

Mariana Salles Rangel², Pedro Baptista Borges², Ivan Felipe Silva dos Santos³

¹Aceito para Publicação no 3º Trimestre de 2016.

²Graduanda em Engenharia Ambiental. Instituto de Recursos Naturais. Universidade Federal de Itajubá (MG), rangelsmariana@gmail.com, ppborges@yahoo.com.br.

³Engenheiro Hídrico e Mestre em Engenharia de energia. Instituto de Recursos Naturais. Universidade Federal de Itajubá (MG), ivanfelpedeice@hotmail.com.

RESUMO

O esgotamento das reservas de combustíveis fósseis é muito preocupante, pois as indústrias, de um modo geral, necessitam desse tipo de energia para funcionarem. Sendo assim, num futuro próximo, a escassez do petróleo poderá tornar-se o grande impulsionador da utilização das energias renováveis em larga escala. É neste contexto que as energias: solar, eólica, biomassa e pequenas centrais hidroelétricas (PCHs) começam a disputar entre si e com as tecnologias já utilizadas em larga escala por uma atenção maior, no sentido de aumentar-se a escala de produção a partir de preços mais competitivos para a energia gerada. Dessa forma, o presente artigo compreende uma análise comparativa entre os custos e tarifas das energias renováveis no Brasil. Os resultados obtidos demonstraram que quanto menor a potência menor o investimento total e que existe uma tendência de que quanto maior o custo unitário maior a tarifa de energia. Dessa forma, as tarifas e os custos unitários mais baixos foram da energia eólica e da PCH.

Palavras-chaves: energias renováveis; preços; potência.

Comparative analysis of costs and renewable energy tariffs in Brazil

ABSTRACT

The depletion of fossil fuel reserves is quite worrying because the industries, in general, need this type of energy to function. Thus, in the near future, the lack of oil could become the most responsible for the use of renewable energy on a large scale. It is in this context that the energies: solar, wind, biomass and small hydroelectric plants (SHP) begin to compete with each other and with the technology already used on a large scale for greater visibility, in order to enlarge the production scale from more competitive prices for energy generated. Thus, this article contains a comparative analysis of the costs and tariffs of renewable energy in Brazil. The results showed that the smaller the lower power is the total investment. In addition, there is a tendency that the higher the unit cost is a higher tariff. Thus, tariffs and lower unit costs were the wind and (SHP).

Keywords: renewable energy; prices; power.

INTRODUÇÃO

A maioria das fontes de energia, como por exemplo a hidroelétrica, solar, eólica, biomassa e combustíveis fósseis, pode ser considerada, segundo Galdino et al.(2004), proveniente direta ou indiretamente da energia solar. Contudo, dentre as fontes citadas, o combustível fóssil pode ser definido com uma forma de energia não renovável, uma vez que os processos de sua utilização são irreversíveis e geram resíduos nocivos ao meio ambiente. Dessa forma, as demais fontes citadas, são consideradas renováveis e limpas, já que não produzem resíduos prejudiciais e causam, em geral, menores danos ao meio ambiente.

As fontes renováveis tem se tornado cada vez mais importantes em âmbito global, devido principalmente ao esgotamento das reservas de combustíveis fósseis e a busca pela redução de emissões de gases do efeito estufa (GEE). Sendo assim, é necessária uma mudança na produção de energia, visando a utilização das fontes renováveis (SANTOS et al., 2014).

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) 2015, o Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a geração hidráulica que responde por 65,2% da oferta interna, como pode-se observar na figura 1. As fontes renováveis representam 74,6% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que resulta da soma dos montantes da produção nacional mais as importações, as quais são basicamente de origem renovável.

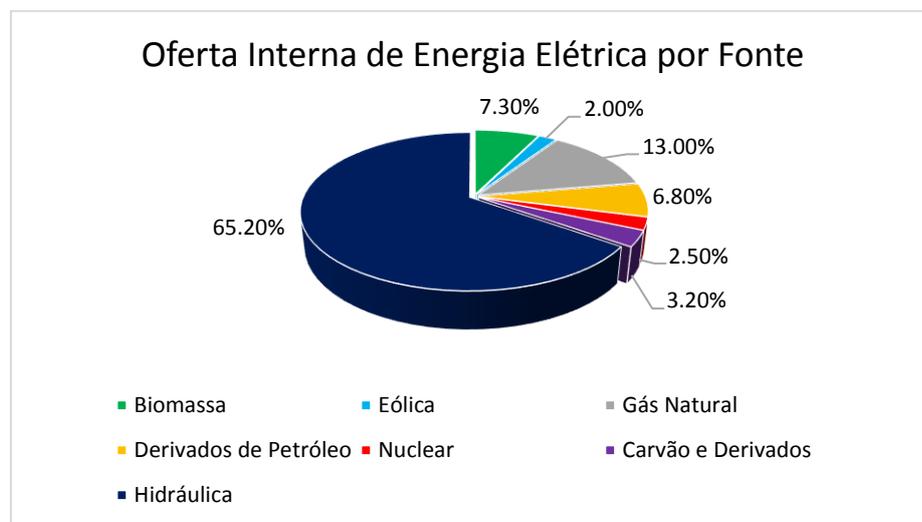


Figura 1 – Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte. Fonte: Balanço Energético Nacional (2015)

As energias renováveis são derivadas de ciclos naturais de conversão da radiação solar e, através da eletricidade, apresentam a possibilidade de reduzir em 70% o consumo de energia convencional (PACHECO, 2006). As principais fontes de energia

renovável utilizadas no Brasil são: hídrica, biomassa, solar e eólica, mas além destas existem também a energia geotérmica e dos oceanos.

A energia hidráulica pode ser definida, segundo Bortoleto (2001), como aquela que provem da condensação, precipitação e evaporação das águas. Já as hidrelétricas são aquelas que apresentam a capacidade de transformar energia cinética em energia elétrica a partir do aproveitamento do movimento das águas, sendo classificadas principalmente em função da sua potência.

Uma das formas mais promissoras de desenvolvimento da bioenergia é o aproveitamento energético do biogás. Essa fonte de energia é uma mistura gasosa, principalmente, de dióxido de carbono e metano, resultante da fermentação anaeróbica da matéria orgânica (PEREIRA, 2011).

A radiação solar é uma fonte que pode ser utilizada diretamente como energia térmica, aquecendo fluidos e ambientes ou para geração de potência mecânica ou elétrica. Além disso, pode ser convertida diretamente em energia elétrica, através de efeitos sobre determinados materiais, como o termoelétrico e o fotovoltaico (ANEEL, 2008).

Já a energia eólica é obtida através das turbinas eólicas: ao girar as pás do rotor a energia cinética contida no vento é convertida em energia mecânica e, em seguida, transformada em energia elétrica pelo gerador.

A tabela a seguir apresenta a fórmula de potência de cada fonte renovável apresentada acima e suas respectivas variáveis:

Tabela 1 – Fórmula de potência por tipo de fonte renovável

Fonte	Fórmula potência	Variáveis
Hidráulica	$P = 9,8 \cdot Q \cdot H$ [kW]	$H = d =$ altura de queda [m]; $Q =$ vazão volumétrica, em [m ³ /s];
Biogás	$P_{dis} = Q_{biogás} \cdot (\%CH_4) \cdot PC_{CH_4} \cdot \eta$	$P_{dis} =$ Potência disponível

Tabela 1 – Fórmula de potência por tipo de fonte renovável

Fonte	Fórmula potência	Variáveis
		anualmente; $Q_{\text{biogás}}$ = Vazão anual de biogás; $\% \text{CH}_4$ = porcentagem de gás metano presente no biogás PC_{CH_4} = poder calorífico do biogás = 35 (MJ/m ³ CH ₄); η = rendimento da tecnologia de conversão energética;
Fotovoltaica	$W = I \cdot \eta \cdot PR$	W = energia anual (primária) gerada pelo sistema [MJ.m ⁻² .ano ⁻¹] I = insolação solar incidente total na superfície, por ano [MJ.m ⁻² .ano ⁻¹] η = eficiência média do módulo [%] PR = relação de desempenho do sistema [%]
Eólica	$P = \rho A \frac{v^3}{2}$	ρ = massa específica, em [kg/m ³]; A = área projetada do aerogerador,

Tabela 1 – Fórmula de potência por tipo de fonte renovável

Fonte	Fórmula potência	Variáveis
		em [m ²]; v = velocidade do vento, em [m/s];

O presente artigo apresenta uma comparação de custos e tarifas de energias renováveis no Brasil, visando analisar o custo unitário médio por tarifa do último leilão. Os empreendimentos considerados possuem uma potência maior ou igual a 1 MW.

MATERIAIS E MÉTODOS

O custo de capital de cada fonte foi calculado com base nas fórmulas apresentadas na tabela 2, para as seguintes potências (kW) analisadas: 1000, 5000, 10000, 15000, 20000 e 25000.

Tabela 2 – Fórmula de custo por tipo de fonte renovável

Fonte	Custo	Variáveis	Referência
Hidráulica (PCH)	$Cun = 1567,2 FA^{0,1026}$	Cun= Custo unitário (\$/kW) FA = Fator de Aspecto em [rpm ⁻¹]	Filho et al. (2014)
Biogás	$I = \text{Custo}_{\text{motorciclo}} + \text{Custo}_{\text{Gasômetro}} + \text{Custo}_{\text{queimador}} + \text{Custo}_{\text{compressor}} + \text{Custo}_{\text{gasoduto}}$	I= Custo de Capital	Santos et al. (2016)
Fotovoltaica	$Cun = 20.877 P^{-0,149}$	P= Potência (MW) Cun= Custo unitário (\$/kW)	Adaptação de dados

Tabela 2 – Fórmula de custo por tipo de fonte renovável

Fonte	Custo	Variáveis	Referência
			EIA (2015)
Eólica	$Cun = 1.092,119 P^{0,058}$	Cun= Custo unitário (\$/kW) P= Potência (kW)	Santos et al. (2015)

A equação de Custo Unitário para energia fotovoltaica foi obtida a partir do gráfico da figura 2, o qual foi gerado de acordo com alguns valores de potência e seus respectivos custos unitários.

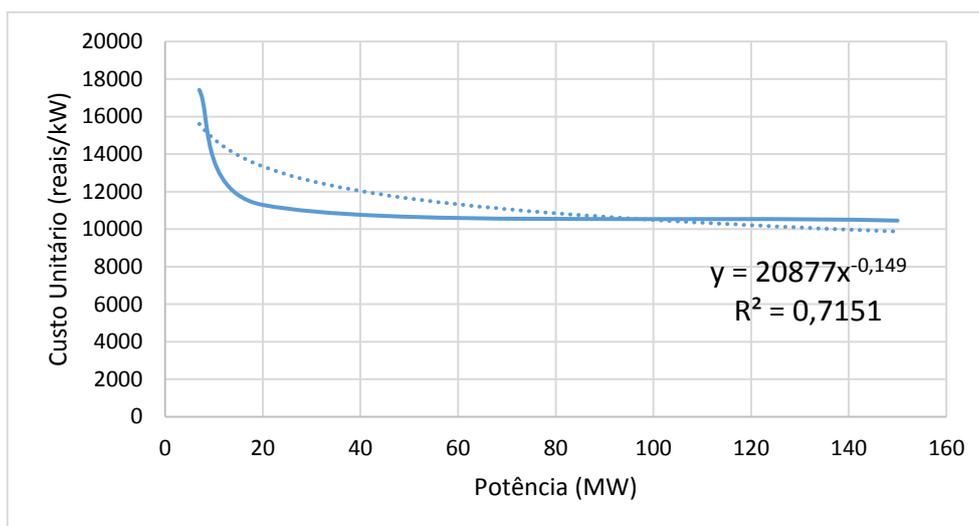


Figura 2 – Gráfico do Custo Unitário em função da Potência

Já a equação de Custo Unitário para a energia eólica foi obtida através do gráfico da figura 3, a partir de valores de investimento de parques eólicos reais brasileiros e suas respectivas potências.

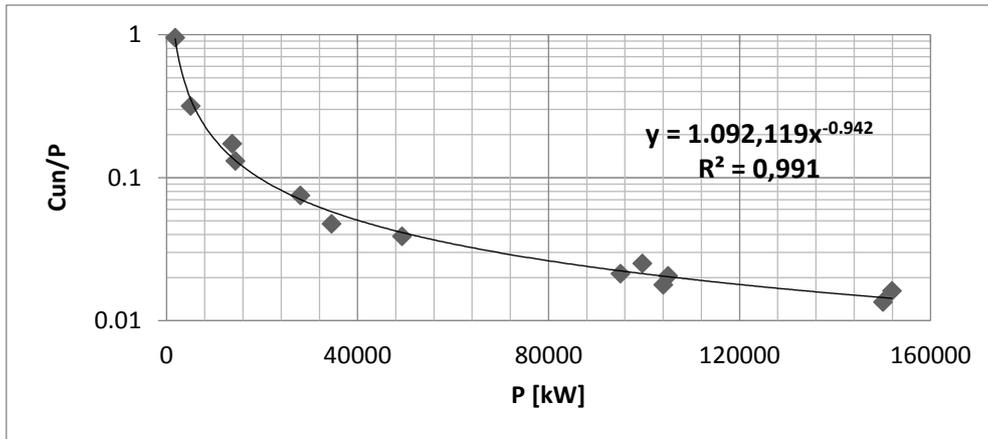


Figura 3 - Curva para determinação do custo unitário de um parque eólico brasileiro.
Fonte: Santos et al. (2013)

RESULTADO E DISCUSSÃO

A figura 4 apresenta o custo de capital para cada tipo de fonte em função da potência. Pode-se observar que quanto menor a potência menor o investimento total. Além disso, nota-se que a energia com o maior investimento é a fotovoltaica e a mais barata é a energia eólica. Com relação a PCH, pode-se verificar que quanto maior a queda d'água, menor o custo de capital.

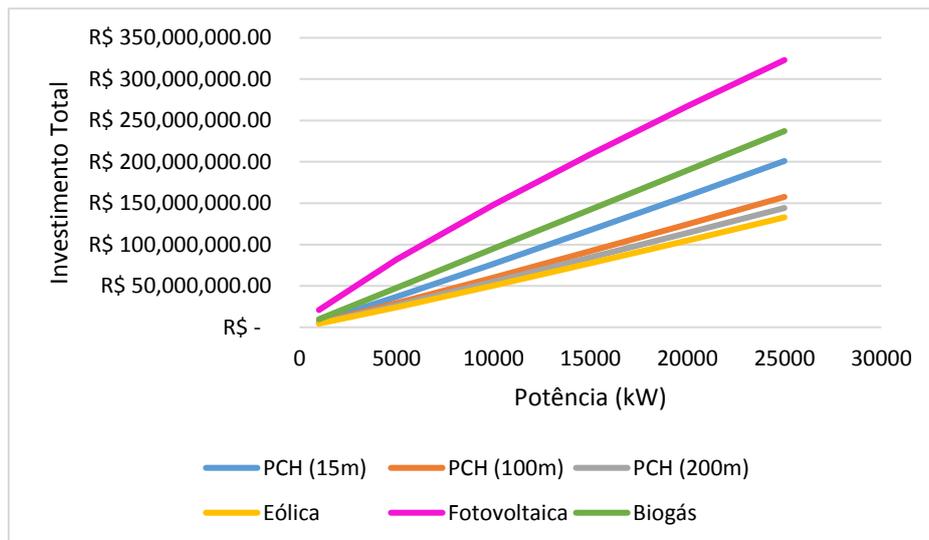


Figura 4 - Investimento total por fonte de energia em função da potência

O desenvolvimento da indústria eólica no Brasil é um fenômeno recente. Somente a partir de 2009, com o início das contratações por meio de leilões, teve início um processo mais consistente. Dessa forma, diversos fornecedores mundiais de aerogeradores de grande porte têm sido atraídos para o País. Além disso, a instalação de unidades de montagem de aerogeradores no Brasil e a fabricação local de componentes e subcomponentes são especialmente motivadas pelo acesso ao financiamento do BNDES/FINAME para compra de máquinas – aerogeradores. Desta forma, o Brasil está evoluindo o modelo industrial do setor, fazendo com que o investimento total nesse tipo de energia renovável seja, como pode-se observar no gráfico 4, menor do que das outras energias (ABDI, 2014).

Já o custo da energia fotovoltaica é o mais alto, segundo o gráfico 4, em detrimento da baixa demanda atual por esse tipo de energia no Brasil. Sendo assim, são necessárias ações que permitam despertar os atores nacionais e globais para o elevado potencial de assimilação de tecnologia e geração de valor adicionado na produção local (ABINEE, 2012).

Com relação a PCH, quanto maior a altura de queda da usina, menor o investimento total, pois a geração de energia elétrica é limitada pelo produto entre vazão e alturadequeda, de forma que a energia obtida é diretamente proporcional ao resultado dessa conta. Sendo assim, o que determina a instalação de uma PCH é um levantamento do potencial hídrico do rio, um projeto básico sobre a capacidade de geração e o cálculo do custo do empreendimento.

Já com relação ao custo unitário para cada tipo de fonte em função da tarifa de energia, pode-se observar na figura 5 que, de modo geral, há uma tendência de que quanto maior o custo unitário maior a tarifa de energia. Dessa forma, as tarifas e os custos unitários mais baixos são da energia eólica e PCH. Esse fato ocorre, pois quanto maior o investimento, mais cara precisa ser a venda de energia elétrica, visando tornar viável economicamente a produção de energia.

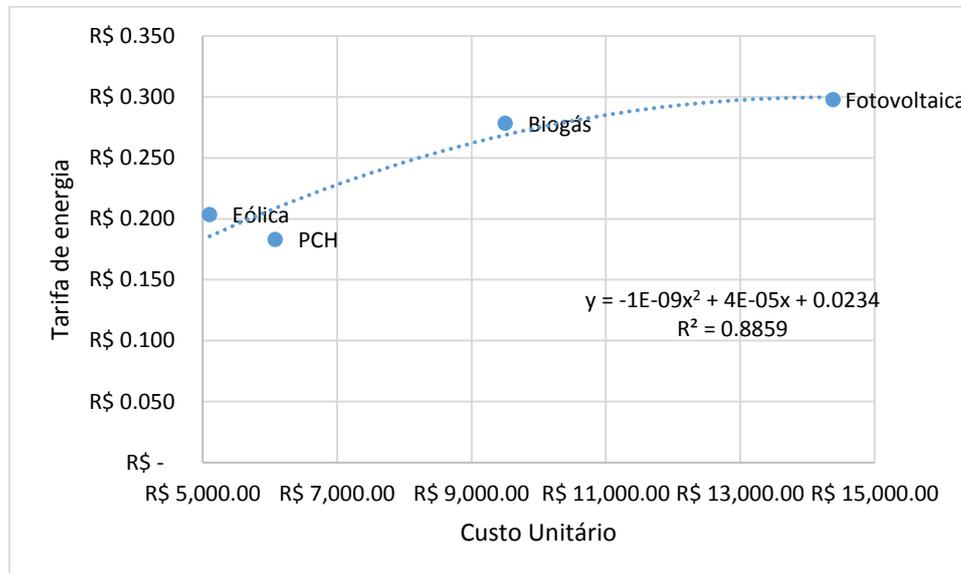


Figura 5- Média do Custo Unitário em função da tarifa de energia para cada tipo de fonte

Pode-se observar no gráfico da figura 5 que este está de acordo com o gráfico da figura 4, uma vez que a maior tarifa de energia está associada com o maior valor de custo unitário e de investimento total. Vale ressaltar que o diferencial está no fato de que, apesar da energia eólica apresentar um menor custo unitário e, conseqüentemente, um menor custo total, sua tarifa é maior do que a de PCH. Isso deve-se ao fato de que o Brasil ainda é altamente dependente da energia hidráulica.

CONCLUSÃO

O presente artigo procurou realizar uma comparação entre os custos e tarifas para as energias renováveis e verificou-se que ainda existe uma significativa diferença entre esses valores. A tarifa de energia fotovoltaica, por exemplo, é aproximadamente 40% maior que a tarifa de PCH.

Dessa forma, é necessário que o país invista mais em outros tipos de energias renováveis, que apresentam um alto potencial de geração, mas que ainda não tem um preço competitivo em relação a energia hidráulica e eólica, por exemplo, devido ao baixo investimento do governo.

Também pode-se concluir, que para PCH é importante que esta possua uma altura de queda d'água alta, visando diminuir o investimento total e, conseqüentemente, a tarifa de energia elétrica. Sendo assim, essas análises apresentadas devem ser consideradas antes da implantação de qualquer usina que vise a produção de energia elétrica a partir de energia renovável, uma vez que são fundamentais para as análises de viabilidade econômica.

REFERÊNCIAS

- ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. (2014). Mapeamento da Cadeia produtiva da indústria eólica no Brasil. Disponível em: <<http://investimentos.mdic.gov.br/public/arquivo/arq1410360044.pdf>>. Acesso em 2 de mai.2016.
- ABINEE - Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. (2012). Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>. Acesso em: 2 de mai.2016.
- ANEEL. *Energia Solar*.2008. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>. Acesso em 14 jan. 2016.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2015: Ano base 2014 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2015. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2015_Web.pdf>. Acesso em 12 jan. 2016.
- BORTOLETO, E.M. 2001. A Implantação de Grandes Hidrelétricas: Desenvolvimento, Discurso e Impactos. Disponível em: [http://www.maternatura.org.br/hidretricas/biblioteca_docs/grandes%20hidrelétricas.pdf](http://www.maternatura.org.br/hidretricas/biblioteca_docs/grandes%20hidrel%C3%A9tricas.pdf). >. Acesso em 17 fev. 2016
- EIA - U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION.(2013).*Updated Capital Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants*.Disponível em: http://www.eia.gov/forecasts/capitalcost/pdf/updated_capcost.pdf. Acesso em 1 de mai.2016.

- FILHO, G.L.T.; SANTOS, I. F. S.; BARROS, R.M.(2014). Estimativa de custos de PCHs pelo parâmetro universal Fator de Aspecto (FA).
- GALDINO, M.A.E.; LIMA, J.H.G.; RIBEIRO, C.M.; SERRA, E.T. (2004) - O Contexto das Energias Renováveis no Brasil. **Revista da Direng**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Direng.pdf>>. Acesso em 11 jan.2016.
- PACHECO, F. Salvador: SEI, n.149, p.4-11, Outubro/2006 *Energias Renováveis: breves conceitos eletricidade*. Disponível em: <http://ieham.org/html/docs/Conceitos_Energias_renov%C3%A1veis.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2016.
- PEREIRA, G. 2011. Viabilidade Econômica da Instalação de um Biodigestor em Propriedades Rurais. Disponível em: <http://www.ideau.com.br/getulio/restrito/upload/Revistas_artigos/76_1.pdf>. Acesso em 18.fev.2016.
- SANTOS, I. F. S.; BARROS, R.M.; FILHO, G.L.T. (2014) - Emissões de gases de efeito estufa em hidrelétricas: Uma revisão. (Trabalho em andamento).
- SANTOS, I. F. S.; FILHO, G.L.T.; BARROS, R.M.(2015). Análises econômicas, de sensibilidade e elasticidade em projetos de energias renováveis no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, v. 21, nº 2, 2015.
- SANTOS, I. F. S.; BARROS, R.M.; FILHO, G.L.T.(2016). *Electricity generation from biogas of anaerobic wastewater treatment plants in Brazil: an assessment of feasibility and potential*. **Journal of Cleaner Production**, v.126, p.504-514,2016.