



Latin American Journal of Energy Research – Lajer (2023) v. 10, n. 1, pp. 46–56
<https://doi.org/10.21712/lajer.2023.v10.n1.p46-56>

Viabilidade econômica de microgeradores eólicos para residências unifamiliares no estado do Piauí, Brasil

Economic viability of wind microgenerators for single-family homes in the state of Piauí, Brazil

Ytallo Rafaell Teixeira de Albuquerque^{1,*}, Luan dos Santos²

¹ Aluno do Programa de Pós-Graduação em Clima e Energia: Variabilidade e Impactos, Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, campus Macaé, RJ, Brasil

² Professor do Programa de Pós-Graduação em Clima e Energia: Variabilidade e Impactos, Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, campus Macaé, RJ, Brasil

* Autor para correspondência, E-mail: ytallorafael@yahoo.com.br

Received: 12 March 2023 | Accepted: 13 March 2023 | Published online: 10 June 2023

Resumo: Com a diversificação da matriz energética brasileira e com a crescente participação da energia eólica na geração de energia elétrica, o Brasil avança patamares mais elevados. Na competição acirrada, a crescente corrida por fontes renováveis, que provoca a diminuição na acentuada dependência por fontes fósseis e hidráulica, possibilitando, dessa forma, a geração de energia elétrica a partir de residências com baixo impacto ambiental. Neste intuito este trabalho teve por objetivo apresentar uma análise de viabilidade econômica em relação a instalação de um sistema de microgeração de energia elétrica derivada do potencial eólico que teve como área proposta para estudo a localidade do estado do Piauí, Brasil, por ser caracterizada como uma região com ventos constantes e de boa qualidade. Por meio de um levantamento bibliográfico sobre a geração eólica e ferramentas de engenharia econômica, foi feita a análise do impacto econômico e do tempo de retorno do investimento, bem como o custo-benefício de uma instalação eólica na região estudada. Desse modo, o modelo de sistema de microgeração eólica aplicado foi do tipo interligado, tendo-se como inviável economicamente a aplicação do modelo para a área proposta.

Palavras-chave: Engenharia econômica, Taxa de retorno, Fontes renováveis, Energia eólica.

Abstract: With the diversification of the Brazilian energy matrix and with the growing participation of wind energy in the generation of electric energy, Brazil advances to higher levels. In the fierce competition, the growing race for renewable sources, which causes a decrease in the accentuated dependence on fossil and hydraulic sources, thus enabling the generation of electricity from homes with low environmental impact. In this sense, this work aimed to present an analysis of economic viability in relation to the installation of a microgeneration system of electric energy derived from the wind potential that had as proposed area for study the locality of the state of Piauí, Brazil, for being characterized as a region with constant and good quality winds. Through a bibliographic survey on wind generation and economic engineering tools, an analysis was made of the economic impact and the return-on-investment time, as well as the cost-effectiveness of a wind installation in the studied region. Thus, the wind microgeneration system model applied was of the interconnected type, considering that the application of the model to the proposed area was economically unfeasible.

Keywords: Economic engineering, Rate of return, Renewable sources, Wind energy

1 Introdução

A demanda por fontes alternativas de energia tem crescido nos últimos anos em função das variações do preço do petróleo aliadas à recente crise energética. No Brasil, a região Nordeste apresenta os melhores potenciais para aplicações em energia eólica que podem apresentar vantagens importantes, tais como: a qualidade nos ventos fortes, os incentivos fiscais e leilões para a comercialização como atrativo ao investimento do país (Alves, 2010; Kaspary e Jung, 2015).

Instalações que estão em operação mostram uma importante iniciativa tanto das concessionárias brasileiras responsáveis pelos projetos experimentais como das empresas autoprodutoras de energia que, dentro do novo cenário do setor elétrico, investem no desenvolvimento de aproveitamento eólico para geração de energia (Alves, 2010).

O estado do Piauí apresenta regiões com ventos constantes e de boa qualidade, características ideais para movimentar os aerogeradores, que, em 2021, totalizam mais de 115 empreendimentos autorizados para funcionar em solo piauiense. No mesmo ano, o estado ocupou a terceira posição em maior geração de energia eólica no país, com 9,10 TWh (Abeeólica, 2021; Cidade verde, 2021).

Em relação ao fator de capacidade da fonte eólica, o estado também atingiu a terceira posição, apresentando valor médio de 46%, para o mesmo ano, ficando atrás dos estados da Bahia (47,7%) e do Maranhão (47,3%) (Abeeólica, 2021).

Com destaque no cenário internacional, o Piauí protagoniza o maior parque eólico da América do Sul, com capacidade instalada de 716 MW. Quando o empreendimento estiver totalmente finalizado, todo o complexo terá 302 aerogeradores e será capaz de produzir cerca de 5 TWh por ano, evitando a emissão de 2,8 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera anualmente, representando mais energia limpa para o país e mais oportunidades de desenvolvimento para a região do estado do Piauí (Enel green power, 2022).

Nesse sentido, o presente trabalho buscou analisar a viabilidade econômica na geração de energia elétrica a partir de microgeradores eólicos para serem utilizados em residências unifamiliares – uma habitação, que geralmente é independente e rodeada por espaços verdes, destinada a acolher uma única família – na região do estado do Piauí, utilizando os métodos de análise econômica para chegar a uma conclusão sobre a viabilidade econômica do projeto.

2 Energia eólica

Desde a antiguidade, essa energia vem sendo utilizada pelo homem através de moinhos e em embarcações movidas à vela. A transformação que é gerada a partir da energia cinética, proveniente dos ventos, em energia elétrica ou mecânica, resulta no que se conhece por energia eólica (Safari, 2011).

O vento proveniente da natureza é constituído através da energia mecânica transportada através do fluxo de gases que se movem devido às diferenças de densidade do ar, de temperatura e de pressão, que são provocadas pela radiação eletromagnética do sol, que atua no aquecimento da superfície terrestre de maneira irregular, de forma que cada material possui sua própria capacidade térmica (Moreira, 2016).

A energia eólica é decorrida através do movimento em aerogeradores, ou seja, turbinas que usam o deslocamento do ar para produzir energia elétrica. A formação de vários de seus aerogeradores é denominada por parques eólicos, onde é produzida a energia que geralmente alimenta localidades remotas e distantes da rede de transmissão (Moreira, 2016).

Os fatores climáticos que ocorrem no Brasil, propiciam a maior produção potencial de energia eólica durante as estações secas, atuando no balanceamento da deficiente distribuição geográfica dos recursos hídricos, e através de suas características relacionadas a baixos impactos, a energia eólica torna-se uma das fontes com importante papel na composição da matriz energética do país (Moreira, 2016).

2.1 Potencial eólico estimado

Segundo estudos realizados pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) e o Ministério de Minas e Energia (MME), o potencial eólico brasileiro é de 143,5 GW, levando em consideração geradores de energia eólica de até 50 metros, como pode ser observado nas Figuras 1 e 2.a (Amarante et al., 2001). Devido ao avanço tecnológico no setor, aerogeradores de 100 metros, usualmente empregados em usinas eólicas para obter maior eficiência dos ventos, fazem com que o potencial seja elevado em mais de 5 vezes, como é demonstrado na Figura 2.b (Pereira, 2019).

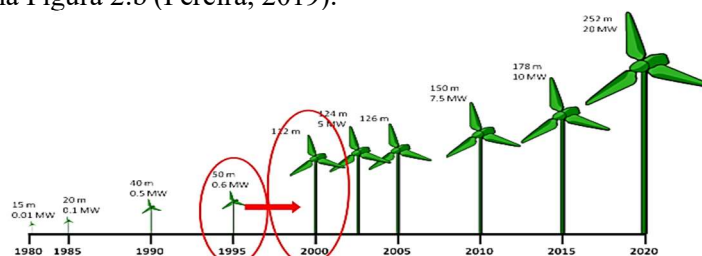


Figura 1. Potencial de aerogeradores de acordo com sua altura. Fonte: Pereira (2019).

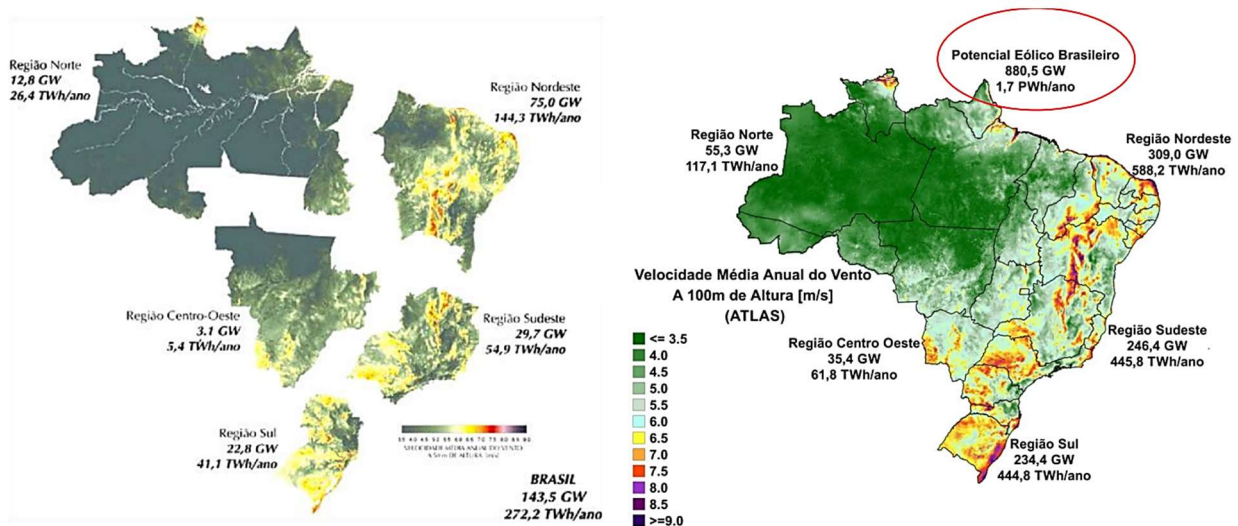


Figura 2. a) Potencial eólico brasileiro para aerogeradores até 50 metros Fonte: Pereira (2019); e b) Potencial eólico brasileiro para aerogeradores a 100 metros. Fonte: Pereira (2019).

3 Geração centralizada e geração distribuída de energia

3.1 Geração centralizada de energia

Um modelo de geração centralizada conta com poucas unidades geradoras produzindo energia para uma quantidade elevada de pessoas, conduzindo eletricidade por meio de cabos de transmissão maiores, mais altos e com alta tensão, até as redes de distribuição, que são os cabos de energia dos postes. Sua maior vantagem é a otimização de custos na geração e simplicidade de gestão administrativo, visto que todo o processo é concentrado em apenas um lugar (Insol, 2021).

Como desvantagens, essa geração conta com: custos e perdas de energia no processo de transmissão; forte impacto ambiental nas áreas que as usinas são construídas; e demora para resolver os problemas com a geração de energia.

Embora esse meio de geração apresente tais ônus, ela foi tida como a mais eficaz e segura nas últimas décadas. No entanto, essa visão começou a mudar com a chegada de outras fontes renováveis de energia, com o barateamento e a acessibilidade de alguns equipamentos que compõe os sistemas fotovoltaicos, como ocorreu com o advento da energia solar (Insol, 2021).

Exemplificando, tem-se a Usina Hidrelétrica de Itaipu, que é responsável por atender a demanda de consumidores de uma determinada região (Energês, 2020).

3.2 Geração distribuída de energia

A geração distribuída de energia caracteriza-se por ser um modelo em que várias unidades geradoras de menor porte abastecem a rede, que, em maioria, conectam-se diretamente com às linhas de distribuição. Essa geração cresceu muito nos últimos anos com o amplo desenvolvimento das usinas solares e, atualmente, existem três modalidades de geração distribuída, podendo ser (Insol, 2021): geração distribuída, onde a energia elétrica pode ser gerada em diversas fontes de energia renováveis de modo que seu consumo seja no mesmo local onde foi gerada; autoconsumo remoto, essa modalidade de obtenção de energia, criada pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, permite que o consumidor instale seu sistema gerador em locais de consumo diferentes, desde que ambos estejam na mesma titularidade e dentro da área de concessão da distribuidora; e geração compartilhada, esse sistema autoriza duas ou mais pessoas serem responsáveis por um sistema único de micro e minigeração.

A geração distribuída está dividida, em: 18% autoconsumo; 1% compartilhada; e 81% própria unidade consumidora; através da potência instalada no país.

4. Procedimento metodológico

Este trabalho foi desenvolvido com base em resultados do trabalho apresentado por Vissoto (2016), levando em consideração o consumo unifamiliar composto por quatro pessoas, apresentando sistema com capacidade de 3kWp.

4.1 Projeto de microgeração

O sistema para instalação de aerogerador implantado foi do tipo convencional interligado a rede de distribuição. Na Figura 3 é possível observar a configuração de um sistema de microgeração eólica. O ponto (1) representa o aerogerador, localizado acima da residência e livre de interferência. No ponto (2) consta o inversor responsável pela transformação de tensão de modo que possa estar dentro dos limites aceitáveis para utilização. No ponto (3) está situado o contador ou medidor de energia, no formato bidirecional que permite a leitura de energia tanto pela entrada da rede elétrica através da concessionária ou do modo contrário da residência para a rede elétrica. No ponto (4) localiza-se a figura da rede elétrica, compreendida por todo o sistema da concessionária desde a geração até a distribuição.

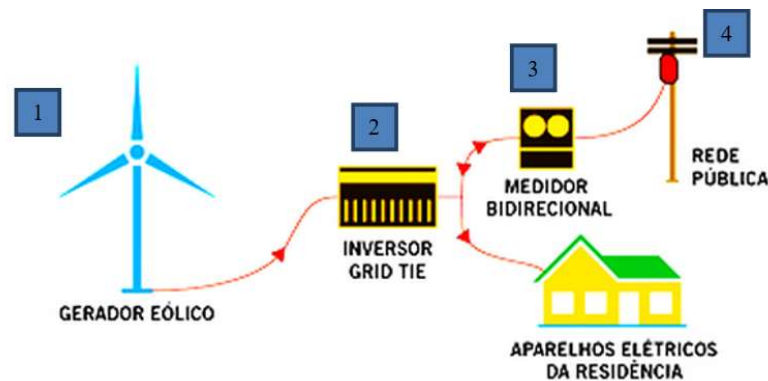


Figura 3. Configuração de um sistema micro eólico interligado à rede elétrica. Fonte: O blog da engenharia mecânica (2017).

5. Ferramentas de engenharia econômica

A Engenharia Econômica é o campo da engenharia responsável pelo uso de técnicas que visam avaliar o valor de serviços e mercadorias para a tomada de decisões de investimentos em empresas de diversos segmentos em estudo de Economia, Análise Financeira, Gestão de Custos, Contabilidade, entre outros. Em suma, tem como desígnio o estudo da melhor alternativa para um investimento financeiro.

Desse modo, existem algumas maneiras de analisar se o investimento feito em uma empresa teve resultado positivo ou negativo e através dessas análises são avaliadas questões como percentuais de retorno, prazos de retorno e rentabilidade sobre os investimentos.

5.1 Payback simples e descontado

O *payback* é um método simples frequentemente usado pela engenharia econômica e análise de investimentos para determinar o tempo necessário para recuperar o valor investido. Este método é muito usado por pequenas empresas ou em pequenos investimentos, devido à facilidade de cálculo e ao fato de ser bastante intuitivo. Quanto menor é o tempo de *payback*, ou seja, do retorno do capital investido, menor é o risco, melhor é o investimento (Moreira, 2016).

Em outras palavras, *payback* é o período necessário para a recuperação de um investimento. Consiste na identificação do prazo em que o montante do dispêndio de capital efetuado tenha sido recuperado, por meio dos fluxos líquidos de caixa gerados pelo investimento. Corresponde, assim, ao período em que os valores dos investimentos (fluxos negativos) se anulam com os respectivos valores de caixa – fluxos positivos (Salim, Ferreira e Salim, 2013).

5.2 Valor presente líquido

De acordo com Salim, Ferreira e Salim (2013), quando se calcula o valor de uma empresa com base nos fluxos e caixa de cinco anos futuros, está levando-se em consideração esses anos na valorização da mesma empresa, como se ela fosse encerrar as atividades ao fim do quinto ano.

No método que considera a perpetuidade, a empresa é suposta com duração infinita. o valor da empresa é calculado pelo somatório de seus fluxos de caixa descontados, projetados para cinco anos, mais os fluxos do sexto ano até o infinito, significando que é somada a perpetuidade, mas descontado o endividamento da empresa (Salim; Ferreira; Salim, 2013).

Refletindo este valor no preço da ação da empresa, basta dividir o valor econômico assim encontrado pelo número total das ações da empresa, onde encontrará um preço justo da ação.

Para este cálculo utilizou-se a Eq. (1):

$$VPL = FC_0 + \frac{FC_1}{(1+i)^{n_1}} + \frac{FC_2}{(1+i)^{n_2}} + \frac{FC_3}{(1+i)^{n_3}} + \dots + \frac{FC_n}{(1+i)^{n_n}} \quad (1)$$

Em que FC = fluxo de caixa em cada período, no caso do investimento em um micro gerador de energia eólica, a economia na fatura de energia em cada período; i = taxa de juros, ou a TMA; e n = número de períodos.

5.3 Taxa interna de retorno

A viabilidade de um empreendimento financeiro é medida pela Taxa Interna de Retorno (TIR), onde ela deve apresentar valor maior que a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) para que o projeto financeiro seja considerado viável. A TIR é uma taxa de juros implícita numa série de pagamentos e recebimentos, que tem a função de descontar um valor futuro ou aplicar o fator de juros sobre um valor presente de acordo com o caso, que deve trazer ou levar cada valor do fluxo de caixa para uma data focal (data base de comparação de valores correntes de diversas datas). Geralmente, adota-se a data de início da operação – momento zero ou data presente – como a data focal de comparação dos fluxos de caixa (Neto, 2006).

Para obter-se a TIR, iguala-se o valor presente líquido a zero e substitui-se a TMA pela TIR que passa a ser a incógnita da Eq. (2):

$$VPL = 0 = FC_0 + \frac{FC_1}{(1+TIR)^{n_1}} + \frac{FC_2}{(1+TIR)^{n_2}} + \frac{FC_3}{(1+TIR)^{n_3}} + \dots + \frac{FC_n}{(1+TIR)^{n_n}} \quad (2)$$

que equivale a Eq. (3):

$$VPL = 0 = \text{Investimento Inicial} + \sum_{t=1}^N \frac{F_t}{(1+TIR)^t} \quad (3)$$

Em que FC = fluxo de caixa em cada período; TIR = taxa interna de retorno; e n = número de períodos. O resultado obtido no cálculo da TIR considera a variação do valor do dinheiro no tempo e é expresso em percentual, facilitando a leitura de viabilidade de um projeto financeiro.

6 Resultados e discussão

6.1 Produção de eletricidade no Brasil

De acordo com a ANEEL (2022), o Brasil possui uma potência outorgada de, aproximadamente, 284 gigawatts. Relacionado à potência fiscalizada, possui, aproximadamente, 187 gigawatts para geração de energia elétrica no país, potência essa correspondente àquela considerada a partir da operação comercial realizada pela primeira unidade geradora.

A potência fiscalizada pode gradativamente aumentar devido à possíveis variações que ocorrem provenientes das unidades geradoras, no ato de serem ligadas conforme o passar dos meses, sendo considerada como a potência do momento de operação (Tabela 1).

Tabela 1. Capacidade de geração elétrica no Brasil. Fonte: ANEEL (2022).

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	% (Pot. Fiscalizada)
UHE	220	103.494.721,00	103.202.557,00	55,29%
UTE	3233	56.277.475,21	45.660.176,09	24,46%
EOL	1311	39.823.368,86	22.813.258,86	12,22%
UFV	17726	72.789.583,02	6.528.896,10	3,50%
PCH	536	7.209.919,32	5.614.638,57	3,01%
UTN	3	3.340.000,00	1.990.000,00	1,07%
CGH	737	865.803,32	852.844,32	0,46%
Total	23766	283.800.870,73	186.662.370,94	100,00%

*Abreviaturas utilizadas: CGH – Central Geradora Hidrelétrica; CGU - Central Geradora Undi-Elétrica; EOL – Central Geradora Eólica; PCH – Pequena Central Hidrelétrica; UFV – Central Geradora Solar Fotovoltaica; UHE – Usina Hidrelétrica; UTE – Usina Termelétrica.

De acordo com dados da Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2022), a geração distribuída, a partir da fotovoltaica e eólica, vem crescendo desde 2017, com geração que ultrapassa 8.000 GWh, correspondendo a quase 3% do consumo cativo no Brasil. Mais da metade dessa geração vem sendo injetada na rede e o restante é utilizado em autoconsumo, onde, atualmente, é majoritariamente usado para consumo residencial e comercial, com pequenos usos no consumo rural e industrial.

Quanto aos dados da geração eólica, segundo a ANEEL (2022), o Brasil possui 1.311 EOL, onde geram, aproximadamente, 40 GW de potência outorgada e 23 GW de potência fiscalizada (Tabela 2).

Tabela 2. Capacidade de geração elétrica no Brasil a partir de geração eólica. Fonte: ANEEL (2022).

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	% (Pot. Fiscalizada)
EOL	1311	39.823.368,86	22.813.258,86	100,00%
Total	1311	39.823.368,86	22.813.258,86	100,00%

Em 2021, a geração eólica superou a marca de 40 GW, com mais de 90% da sua produção injetada na rede, distribuindo seu uso, em maioria, para o setor comercial e um pequeno uso para o setor industrial (EPE, 2022).

6.2 Produção de eletricidade no Piauí

Segundo a ANEEL (2022), o Estado do Piauí possui um total de 350 empreendimentos distribuídos entre EOL, UFV, Usina Hidrelétrica e Usina Termelétrica, que juntos produzem uma potência outorgada que corresponde a 13,4 GW e 4,5 de potência instalada.

Quanto aos dados de geração distribuída no Piauí, a partir da fotovoltaica e eólica, segundo a EPE (2022), a geração vem crescendo desde 2016, chegando a quase 200 GWh no ano de 2021, com quase 100% proveniente da energia solar. Mais da metade dessa geração vem sendo injetada na rede e o restante utilizada em autoconsumo, onde é majoritariamente usado para consumo residencial e comercial, com pequenos usos no consumo industrial e rural, respectivamente, e tendo a concessionária Equatorial PI responsável por quase a totalidade da sua distribuição.

Em 2021, foram registrados os primeiros dados referente à geração eólica no estado do Piauí, caracterizando seus dados de modo que ainda pouco expressivos.

6.3 Análise do investimento

Os cálculos para retorno do investimento foram realizados levando em consideração a tarifa convencional – Residencial Normal – (Equatorial Energia). O consumo estimado está em acordo com publicação do Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2022 da EPE para consumidores residências, a estimativa de consumo residencial anual per capita 554 kWh/hab. Então, para consumo unifamiliar composto por quatro pessoas é de aproximadamente 185 kWh/mês, referente à região proposta para o estudo.

Na Tabela 3 constam os valores com e sem impostos praticado desde 30 de junho de 2016 para consumidores residenciais do estado do Piauí.

Tabela 3. Tarifa convencional - Residencial Normal. Fonte: Equatorial energia (2022).

Convencional	Resolução ANEEL N° 2.980, de 02 de fevereiro de 2021
Tarifa em R\$/kWh	0,62804
Residencial Normal	Tarifa convencional - sem impostos e sem bandeira
Início da vigência em: 02/02/2021	

A ANEEL fixa o valor da tarifa de energia que deve ser cobrada na sua fatura bem como o valor de alguns dos serviços oferecidos pelas distribuidoras. Esses valores são reajustados anualmente.

Na Figura 4 são esboçados os gráficos em que é possível verificar o consumo residencial de eletricidade no Brasil de 2004 a 2022 e, também, o consumo por UF e por região do território nacional.

Na Figura 5 é possível observar a variação, em porcentagem, do consumo residencial de eletricidade no Brasil ao longo do período de 2004 a 2022.

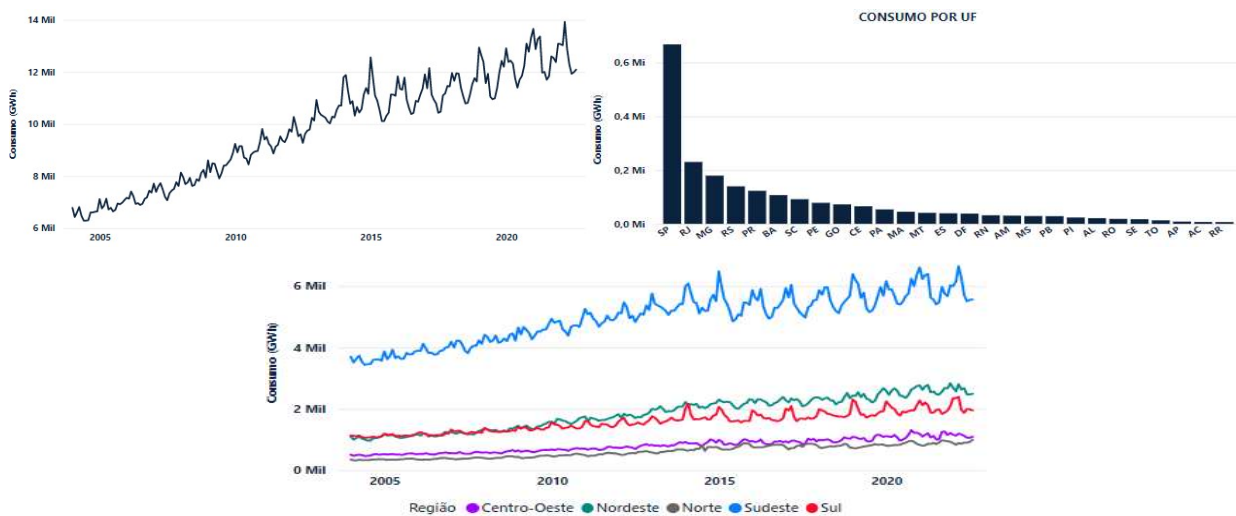


Figura 4. Consumo residencial de eletricidade no Brasil, período 2004 – 2022. Fonte: EPE (2022).



Figura 5. Variação (%) do consumo residencial de eletricidade no Brasil, 2004 - 2022. Fonte: EPE (2022).

A Tabela 4 aponta o valor médio de alteração nas tarifas de energia elétrica que teve aumento de 10,66% ao ano de 2014 a 2021. Esta média foi utilizada para cálculos de retorno de investimento.

Tabela 4. Alterações tarifárias. Fonte: Equatorial energia (2022).

Ano	Motivo	Ato regulatório	Efeito médio ao consumidor
2014	Reajuste Tarifário	Resolução Homologatória nº 1.781, de 26/08/2014	31,40%
2015	Revisão Extraordinária	Resolução Homologatória nº 1.858, de 27/02/2015	3,21%
2015	Reajuste Tarifário	Resolução Homologatória nº 1.949, de 28/09/2015	5,53%
2016	Reajuste Tarifário	Resolução Homologatória nº 2.135, de 20/09/2016	0,44%
2017	Revisão Tarifária	Resolução Homologatória nº 2.305, de 26/09/2017	27,63%
2018	Reajuste Tarifário	Resolução Homologatória nº 2.490, de 27/11/2018	12,64%
2019	Revisão Tarifária	Resolução Homologatória nº 2.523/2019, de 01/09/2020	-1,45%
2019	Reajuste Tarifário	Resolução Homologatória nº 2.644/2019, de 02/09/2020	-7,16%
2020	Revisão Tarifária	Resolução Homologatória nº 2.811/2020, de 24/11/2020	3,48%
2021	Reajuste Tarifário	Resolução Homologatória nº 2.980/2021, de 30/11/2021	9,59%

No Brasil, pouco incentivo do governo no setor de geração de energia elétrica reflete no custo para geração eólica, sendo este ainda elevado. Para realização dessa pesquisa, foram realizadas algumas pesquisas na literatura sobre o orçamento de instalação dos componentes de geração eólica residencial.

Segundo o Portal Solar (2021), um sistema de energia eólica residencial custa entre R\$ 10 mil e R\$ 75 mil, sendo que, somente a turbina eólica custa, em média, de R\$ 2 mil a R\$ 3.500 mil. De acordo com Carvalho (2021), os custos para a instalação de um sistema eólico variam conforme a potência desejada, que podem ser de 500 W até 6 mil W, com preços de R\$ 2,7 mil até R\$ 50 mil. E, segundo Moreira (2016), o custo total com equipamentos do sistema chega aproximadamente a R\$ 40 mil. Diante das variações e

estimativas dos orçamentos, o autor deste trabalho adotou o valor de R\$ 45 mil para a realização total do empreendimento residencial.

As planilhas a seguir demonstram o tempo para o retorno do investimento, levando em consideração três análises: 1) análise realizada pela taxa de correção da energia elétrica (últimos oito anos subiu em média 10,66% ao ano); 2) análise realizada pela correção do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA); e 3) análise realizada pela correção pela taxa do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (SELIC), que é um índice pelo qual as taxas de juros cobradas pelos bancos se balizam.

Para realização dos cálculos, utilizou-se: 1) a razão do consumo médio mensalmente; 2) multiplicou-se pela quantidade de meses; e 3) obteve-se o valor de energia (resultado corrigido ano a ano).

Na análise de orçamentos de aerogeradores importados, os valores obtidos representam cerca de 30% dos valores praticados no Brasil, já incluindo custos de logísticas e taxas de impostos. Para que a energia elétrica seja utilizada de forma paralela com a rede de distribuição, faz-se necessário que os componentes sejam certificados e validados por órgãos e concessionárias de energia, sendo este, elemento relevante para utilização de produtos para geração elétrica residencial no país.

De acordo com a Equatorial Energia (2022), o valor da tarifa de energia residencial normal que esteve vigente durante o ano de 2022 foi de R\$ 0,62804 por kWh. A EPE (2022) afirma que o consumo médio residencial para a região estudada é de 185 kWh/mês.

Para obtenção do valor gasto em energia elétrica por residência, composta por quatro pessoas, localizada no estado do Piauí, utiliza-se a equação:

$$\bullet \text{ Custo energia} = \text{Valor kWh} * \text{Consumo kWh/mês} = 0,62804 \text{ R\$/kWh} * 185 \text{ kWh/mês} = 116,19 \text{ R\$/kWh}$$

Assim, para que a instalação de sistema eólico se torne viável a geração deverá ser equivalente a 185 kWh/mês. Para estimativa da energia gerada utilizou-se dados do trabalho de Vissoto (2016), em que a potência gerada para o ano de 2015, na localidade estudada pelo autor, foi de 32kWh/mês. Na sequência são apresentados os cálculos para estimativa mensal com o dado de potência estimada.

$$\bullet \text{ Custo evitado mensal} = \text{Valor kWh} * \text{Consumo evitado kWh/mês} = 0,62804 \text{ R\$/kWh} * 32 \text{ kWh/mês}$$

$$\text{Custo evitado mensal} = 20,10 \text{ R\$/mês}$$

Com a implantação do sistema o valor que se evita por mês é de R\$ 20,10 (nos cálculos de análise de *payback* foram considerados valores anuais). Dessa forma, o custo evitado anualmente é o seguinte:

$$\bullet \text{ Custo evitado anual} = 20,10 \text{ R\$/mês} * 12 \text{ meses} = 241,20 \text{ R\$}$$

Por meio das equações apresentadas anteriormente, calculou-se o valor que chegaria a ser evitado por ano, sendo que este valor, no primeiro ano, representa apenas 0,54% do valor total do investimento, tornando o retorno do investimento muito longo.

Verificou-se, através dos resultados nas apresentadas nas tabelas a seguir, que o prazo para retorno do investimento ficou entre 27 e 61 anos. Em qualquer dos cenários, a instalação não seria viável pelo fato de a vida útil do equipamento estar estimada em torno de 20 anos, ou seja, antes da quitação do investimento o aerogerador estaria fora do seu período útil e, quando o aerogerador atinge sua vida útil, existem alguns caminhos a serem seguidos, devendo a melhor escolha ser pautada através do monitoramento e análise das variáveis envolvidas.

Na Tabela 5 é demonstrado a análise de *payback* considerando correção de valor da energia elétrica, pela média dos últimos oito anos. Haveria retorno no investimento a partir de 31 anos após a implantação.

Tabela 5. Análise de *payback* pela correção do valor da tarifa de energia.

Investimento: R\$ 45.000,00					
TMA = Correção de energia		10,66%	Custo Evitado Anual		R\$ 241,20
Ano	Fluxo de Caixa	VPL	Ano	Fluxo de Caixa	VPL
1	R\$ 241,20	R\$ 241,20	30	R\$ 4.551,00	R\$ 44.980,62
10	R\$ 600,20	R\$ 3.967,89	31	R\$ 5.036,13	R\$ 50.016,75
20	R\$ 1.652,72	R\$ 14.894,02	32	R\$ 5.572,98	R\$ 55.589,73

Na Tabela 6, consta a análise realizada pela correção do IPCA, onde o retorno do investimento desta análise tornou-se ainda mais demorado, apresentando recuperação do investimento com 61 anos.

Tabela 6. Análise de *payback* por meio da correção IPCA.

Investimento: R\$ 45.000,00					
TMA = Taxa IPCA		3,28%	Custo Evitado Anual		R\$ 241,20
Ano	Fluxo de Caixa	VPL	Ano	Fluxo de Caixa	VPL
1	R\$ 241,20	R\$ 241,20	60	R\$ 1.619,33	R\$ 43.635,43
30	R\$ 614,96	R\$ 12.010,13	61	R\$ 1.672,44	R\$ 45.307,87
45	R\$ 997,91	R\$ 24.068,34	62	R\$ 1.727,30	R\$ 47.035,17

Na tabela 7, a correção ocorre pelos índices da SELIC, o retorno do investimento é para 27 anos.

Tabela 7. Análise de *payback* por meio da correção SELIC.

Investimento: R\$ 45.000,00					
TMA = Taxa Selic		13,25%	Custo Evitado Anual		R\$ 241,20
Ano	Fluxo de Caixa	VPL	Ano	Fluxo de Caixa	VPL
1	R\$ 241,20	R\$ 241,20	24	R\$ 4.219,45	R\$ 34.244,00
8	R\$ 576,29	R\$ 3.105,31	27	R\$ 6.128,73	R\$ 50.562,95
16	R\$ 1.559,37	R\$ 11.507,86	28	R\$ 6.940,79	R\$ 57.503,75

Comparando as aplicações das energias eólica e fotovoltaica, ambas de forma residencial, de acordo com Lima, Moraes e Mendes (2021), o gasto com a implementação do sistema eólico foi em torno de R\$ 36 mil e, neste trabalho, os autores adotaram o valor de R\$ 45 mil, diferença de R\$ 9 mil de diferença relacionado aos custos de implementação. As autoras obtiveram um retorno do investimento, em solar, com pouco mais que 5 anos, e segundo a ANEEL (2019) os painéis solares possuem vida útil de 25 anos, superior aos aerogeradores. Dessa forma percebe-se que o lucro da tecnologia solar é de quase 20 anos.

Para Ponath (2022), o retorno do investimento de um projeto de sistema fotovoltaico, que custaria cerca de R\$ 18 mil a uma cotação de 3,22 kWp, aplicado em uma residência familiar com quatro integrantes, ocorreria em 2,6 anos. Desse modo, a aplicação desse projeto em regiões que possuam características homogêneas – condições geográficas de orientação e irradiação solar – obtém-se maior segurança economicamente, visto o seu curto tempo de *payback* e rentabilidade acima da média na comparação com investimentos em energias de outras modalidades no Brasil.

Dessa forma, as análises comprovam que investir em eólica em ambiente com características de região e implantação de projeto, análogas às adotadas neste trabalho, não é tido como um negócio bom ou atrativo, por apresentar um longo prazo para que o valor investido seja superado ou lucrativo.

7. Considerações finais

- Este trabalho buscou contribuir com estudos sobre fontes alternativas de geração de energia elétrica, por meio de uma análise econômica, que teve por referência estudar a viabilidade de implantação de um sistema de microgeração eólica residencial unifamiliar;
- O consumo de energia elétrica é, frequentemente, utilizado como parâmetro para se medir o desenvolvimento econômico e social de uma região, devido a sua evolução em índices de variação de produção de energia elétrica e de renda da população;
- Períodos de estiagem geram a criação das bandeiras tarifárias, conforme a Resolução Normativa nº 1.003/22 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2022), aumentando o valor monetário do

- quilowatt-hora (kWh), tarifação não adotada na análise deste trabalho, pelo fato de a concessionária disponibilizar várias taxas relacionadas às várias bandeiras aplicáveis;
- d) As etapas desenvolvidas neste trabalho partiram de um levantamento bibliográfico sobre a geração de energia eólica, com a utilização de ferramentas de engenharia econômica. Na sequência analisou-se o impacto econômico e o custo-benefício da sua instalação;
 - e) Os fatores abordados nesta pesquisa corroboram para viabilizar a geração eólica residencial. Porém, os resultados obtidos neste trabalho indicaram que a geração eólica é uma alternativa inviável economicamente para ser implantado de forma residencial no Brasil;
 - f) Políticas governamentais não têm incentivado a geração elétrica residencial, sendo um fator relevante a não isenção de impostos para a geração de eletricidade praticada pela população. Outro fator essencial é a reduzida quantidade de fabricantes nacionais de aerogeradores certificados, que sobrecarregam os custos dos componentes deste meio alternativo de energia;
 - g) Para verificação de viabilidade do sistema, propõe-se como estudos futuros, a realização deste estudo em regiões com diferentes aplicabilidades, inserindo a comparação entre os métodos de captação de energia limpa.

Referências bibliográficas

- Abeeólica (2022) ‘Benefícios da energia eólica para todo mundo’. <<https://abeeolica.org.br>> (accessed 05 Jun. 2022).
- Abeeólica (2021) ‘Boletim anual 2021’. <<https://abeeolica.org.br/energia-eolica>> (accessed 05 Jun. 2022).
- Alves, JJA (2010) ‘Análise regional da energia eólica no Brasil’. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, vol. 6, no. 1, pp. 165-188.
- Amarante et al. (2001) ‘Atlas do potencial eólico brasileiro’. <www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico> (accessed 10 Jun. 2022).
- ANEEL (2015) ‘Resolução normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015’. <www.gov.br/aneel/pt-br> (accessed 27 Jun. 2022).
- ANEEL (2019) ‘Revisão das regras de geração distribuída entra em consulta pública’. <www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao> (accessed 25 Sept. 2022).
- ANEEL (2022) ‘Resolução Normativa nº 1.003, de 7 de junho 2022’. <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20221023.pdf>> (accessed 26 Sept. 2022).
- ANEEL (2022) ‘Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA’. <<https://app.powerbi.com/view>> (accessed 25 Sept. 2022).
- Cidade verde (2021) ‘Energia do Futuro: Piauí se destaca na produção de energia solar e eólica no País’. <<https://cidadeverde.com/noticias/356121/energia-do-futuro-piaui-se-destaca>> (accessed 30 May 2022).
- Enel green power (2022) ‘Enel Green Power inicia obras da segunda ampliação do parque eólico lagoa dos ventos’. <www.enelgreenpower.com/pt/midias/press/2022/10> (accessed 05 Marc. 2022).
- Energês (2022) ‘Onde encontrar os dados de geração centralizada e distribuída’. <<https://energes.com.br>> (accessed 05 Oct. 2022).
- EPE (2022) ‘Consumo Mensal de Energia Elétrica por Classe’. <www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica> (accessed 15 May 2022).
- EPE (2022) ‘Painel de Dados de Micro e Minigeração Distribuída’. <<http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com:3838/pdgd>> (accessed 15 Sept. 2022).
- Equatorial energia (2022) ‘Valor de tarifas e serviços’. <<https://pi.equatorialenergia.com.br/informacoes-gerais/valor-de-tarifas-e-servicos/#residencial-normal>> (accessed 25 May 2022).
- Insol (2021) ‘Energia Solar Fotovoltaica: geração centralizada x geração distribuída’. <<https://insolenergia.com.br/blog/geracao-centralizada-x-geracao-distribuida>> (accessed 05 Oct. 2022).
- Kaspary, RM e Jung, CF (2015) ‘Energia eólica no Brasil: uma análise das vantagens e desvantagens’. In: *XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão*, Rio de Janeiro.

- Lima, FQ e Moraes, RCB, Mendes, SRS (2021) *Energia fotovoltaica em residência na cidade Goiânia-GO*. Postgraduate Thesis, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia.
- Moreira, H (2016) *Viabilidade econômica na geração de energia elétrica com o uso de microaerogeradores*. Postgraduate Thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.
- Neoenergia. ‘Energia eólica: ventos do Nordeste’. <<https://www.neoenergia.com/pt-br/te-interessa/meio-ambiente/Paginas/energia-eolica-ventos-do-nordeste>> (accessed 05 May 2022).
- Neto, AA (2006) *Matemática Financeira e Suas Aplicações*. 9th edn. São Paulo: ATLAS.
- O blog da engenharia mecânica (2017) ‘História da Energia Eólica e suas Atualizações’. <<https://fabricioengmec.blogspot.com/2017/07/>> (accessed 15 April 2022).
- Pereira, EB (2019) *Fontes Eólica e Solar: oportunidades e desafios*. São Paulo: INPE.
- Ponath, LFG (2022) *Produção fotovoltaica residencial no Brasil: um estudo sobre a eficiência energética e viabilidade econômica*. Masters thesis, Instituto Politécnico de Bragança, Rio de Janeiro.
- Safari, B (2011) ‘Modeling wind speed and wind power distributions in Rwanda’. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 2, pp. 925–935. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.001>>.
- Salim, C, Ferreira, CF e Salim, H (2013) *Implantando uma Empresa: a partir do plano de empreendimento*, 1st edn. São Paulo: Elsevier.
- Vissoto, BG (2016) *Viabilidade Técnica na Geração de Energia Elétrica com o uso de Microgeradores Eólicos*, Curitiba.