

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE INVESTIMENTO DE SUBSTITUIÇÃO DE AEROGERADORES: UM ESTUDO DE CASO

Vinicius Sousa de Almeida¹, André Duarte Lucena², André Pedro Fernandes Neto³

Resumo: O setor energético é de suma importância para a economia e para a sociedade de forma geral. A matriz energética brasileira está em expansão e as energias consideradas limpas, tal como a eólica, tem sido priorizada nos últimos anos. O objetivo desse trabalho é avaliar a viabilidade financeira da substituição de aerogeradores de um complexo eólico por aerogeradores utilizados em outro parque eólico, dado a evolução da potência dos novos geradores instalados nos mesmos que são de 4,2 MW, além de verificar o tempo de retorno dos dois empreendimentos analisados. Os resultados mostraram que o tempo de retorno do complexo Santo Inácio é em torno de 5,47 anos e o tempo de retorno do investimento do parque eólico Gravier é estimado em 4,26 anos. De acordo com as considerações feitas nesse trabalho, com a substituição hipotética dos aerogeradores do complexo Santo Inácio por aerogeradores similares aos utilizados no campo Gravier o complexo produziria 77,54% a mais do que nas condições atuais, gerando um acréscimo anual de R\$85.074.063,36.

Palavras-chave: Energia Eólica; Análise de Investimento; Payback.

1. INTRODUÇÃO

A geração eólica tem ganhado força no mercado Nacional como uma forma limpa e vantajosa de geração de energia, devido ao aumento da preocupação com o meio ambiente e os efeitos degradantes causados pelas emissões de gases emitidos das formas tradicionais de produção energética, dependentes de combustíveis fósseis.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2021), o Brasil está em um processo de expansão de sua matriz energética, tendo a fonte eólica alcançado a maior entrada em operação comercial no mês de abril do corrente ano com 218,45 MW de potência instalada, representando 67% do total do respectivo mês.

Nota-se que a capacidade total energética do país é de 175.407,3 MW (Megawatts), onde 10,26% desse valor é abastecido pelos parques eólicos, ou seja, 17.996,79 MW de energia que são oriundos da força dos ventos. Os dados de empreendimentos outorgados em implantação, apontam uma perspectiva de crescimento, pois apenas no ano de 2021 em média 30% dos investimentos energéticos iniciados e não iniciados são em energia eólica.

Tendo em vista, que o vento é uma fonte primária de produção energética limpa e inesgotável, além de ser uma fonte de energia barata comparada as outras fontes, tal investimento tende a continuar crescendo nos próximos anos (SALES, 2018)

Os parques eólicos são uma coleção de turbinas eólicas que operam juntas, de modo que, da perspectiva da rede, elas parecem formar uma única usina transformando-se em um empreendimento de geração de energia elétrica. Os mesmos são compostos pelo conjunto de aerogeradores, que podem ser subdivididos em dois tipos: *onshore*, projetados e instalados em terra firme, e *offshore*, projetados e instalados no mar.

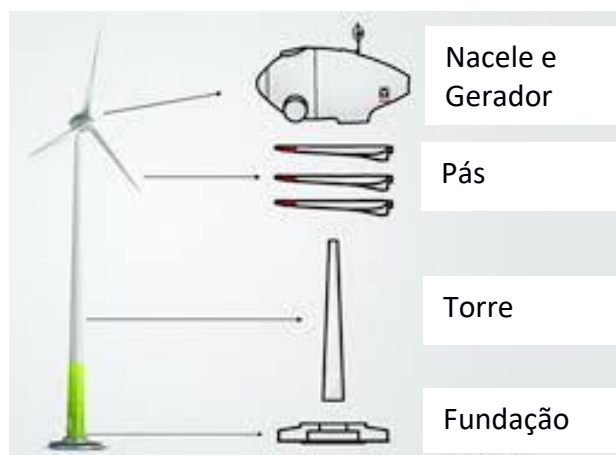
Os aerogeradores convertem a força do vento em energia elétrica. Esses aerogeradores são divididos basicamente em seis grupos de componentes, sendo: pás, hub, nacelle, gerador, torre e fundação. Conforme apresentado na Figura 1.

¹ Graduando do curso Interdisciplinar de Ciência e Tecnologia, vinicius-int@hotmail.com

² Professor orientador, Docente do Departamento de Engenharia e Ciências Ambientais da UFRSA, andrelucena@ufrsa.edu

³ Professor coorientador, Docente do Departamento de Engenharia e Ciências Ambientais da UFRSA, andrepedro@ufrsa.edu

Figura 1: Componentes de um aerogerador



Fonte: ABEEólica, 2014.

As Pás têm como função girar em torno do rotor, influenciado pela força do vento, assim captando uma força mecânica a qual logo será convertida em potencial elétrico.

O Hub é a peça a qual as pás são ligadas, nos projetos mais recentes as pás são conectadas a um rolamento permitindo o ajuste de seu ângulo, assim podendo se adequar a posição mais propícia para a captação dos ventos.

A Nacele é a estrutura responsável por abrigar os componentes elétricos da turbina, sistema de controle, sistema de transmissão e o conjunto de freios.

O gerador é o dispositivo se encontra no interior da Nacele e é o responsável pela transformação da energia mecânica gerada pela rotação das pás em energia elétrica.

A torre é a estrutura responsável pela sustentação dos componentes elétricos e mecânicos. Normalmente a torre é fabricada em partes, chamadas de aduelas ou anéis (torres de concreto), ou segmentos (torre metálicas), e são montadas sobre estruturas de fundação em concreto armado.

E por fim, a fundação é uma estrutura de concreto armado responsável por suportar o peso próprio da torre e de todos os componentes do gerador, além de cargas acidentais.

Entretanto, de acordo com Santos (2013), as torres representam uma parcela significativa do custo total desse sistema, e a altura delas tende a crescer com o objetivo de se buscar ventos mais fortes, permitindo assim o uso de aerogeradores com maior capacidade de geração de energia.

Diante disso, o objetivo deste trabalho é apresentar uma análise de investimento simulando a substituição de aerogeradores de empreendimentos específicos da região do litoral leste do Ceará, bem como estimar a produção dos aerogeradores em valores monetários e o tempo médio para retorno do investimento alocado nesses dois empreendimentos: o Complexo Eólico Santo Inácio, com seus geradores de 2,1 MW e a Central Eólica Gravier que utilizará geradores de 4,2 MW.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Aspectos Históricos

O uso da energia proveniente do vento como fonte de outros tipos de energia se dá desde os séculos passados, quando o mesmo era usado para impulsionar os moinhos na tarefa de bombear água ou na utilização na moagem de grãos. Nesses dois casos apresenta-se o que poderia ser classificado como o predecessor do que se conhece hoje como aerogeradores. Mas, a primeira turbina eólica implantada foi na década de 1940, conforme Gouveia (2013):

“Na década de 1940, durante a Segunda Guerra Mundial, foi desenvolvida a maior turbina eólica da época, capaz de gerar 1,25 megawatts (MW) de potência, para ventos com a velocidade de 48 Km/h. Esta turbina localizava-se no topo de uma colina em Vermont, nos Estados Unidos da América, era designada correntemente por Knob Grandpa's (Figura 2.2), e contribuía para alimentar a rede elétrica local” (GOUVEIA, 2013 p. 7).

Mas essa mesma citação pode ser contestada por Sheperd (2009), que afirma:

“A turbina eólica de Brush, um modelo de catavento americano que funcionou entre 1888 e 1908 em Cleveland, Ohio, é considerada o primeiro aerogerador do mundo. Este equipamento alimentou a residência e o laboratório de Charles F. Brush, inventor e fabricante de equipamentos elétricos. Brush integrou com sucesso a tecnologia dos moinhos de vento do

Durante o período da segunda guerra até meados do sec. XVII os investimentos em energias renováveis, como a eólica, foram deixados de lados, pois a exploração do carvão e o petróleo em larga escala, para produção de energia primária fizeram os preços dos mesmos serem reduzidos (GOUVEIA, 2013)

Isso ocorreu até a crise do petróleo de 1973 que incentivou o desenvolvimento das pesquisas sobre os aerogeradores, uma vez que houve um aumento nos preços dos subsídios relacionados ao petróleo. Nesse momento histórico, muitos países começaram o desenvolvimento das tecnologias voltadas a energias renováveis como a eólica. Bons exemplos do desenvolvimento das novas tecnologias nessa década ocorreram em países como a Dinamarca e Alemanha, com seus Institutos de Investigação e de Energia Eólica respectivamente, os quais foram responsáveis pela criação de modelos mais eficiente de aerogeradores (PESTANA, 2016).

Já no Brasil o desenvolvimento em relação a energia eólica chegou um pouco tarde, só em 1992, quando foi implementado o primeiro aerogerador, situado no arquipélago de Fernando de Noronha. Isso foi realizado graças a uma parceria do Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE) e a Companhia Energética de Pernambuco (CELPE), financiadas pelo instituto de pesquisas Dinamarquês *Folkecenter*. Após essa parceria, esta área ficou quase 10 anos parada, sem investimentos no país, até a crise energética de 2001, quando houve a criação do Programa Emergencial Eólico (PROEÓLICA), com o objetivo da implantação de 1050 MW em energia eólico até meados de 2003, mas o mesmo não teve sucesso com seu objetivo o que levou sua substituição pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Eólica (PROINFA), que tem um objetivo mais abrangente comparado ao seu antecessor, pois incentiva o desenvolvimento das fontes de energia renováveis em todo país, além de ter conseguido a fixação da indústria de componentes e turbinas eólicas no Brasil, com exigências de conteúdo nacional para os aerogeradores.

A produção de energia eólica no nosso país se dá mediante alguns fatores de suma importância como ventos estáveis, com certa intensidade e sem mudança brusca de direção ou velocidade durante o ano. O Brasil conta com uma capacidade média de 40% desse tipo de vento. E na região Nordeste do país, esse valor chega a ser de 60% a 70%. Graças ao PROINFA outro fator que se pode atribuir ao sucesso do setor eólico é a cadeia produtiva, que começou atingindo índices de 60% e hoje atinge 80% dos aerogeradores; além dos fabricantes de turbinas, pás e torres nacionais.

Com esses fatores, o Brasil tem se consolidado como um dos maiores produtores de energia eólica do mundo. Em 2018, o país estava na oitava posição no Ranking Mundial de capacidade eólica instalada, segundo o relatório elaborado pelo Global Wind Energy Council (GWEC). Para ser mais expressivo saímos de 1 GW de potência em 2010 para seus impressionantes 19,4 GW em operação no ano de 2021 (ANEEL, 2021).

2.2. Parques Eólicos

Os parques eólicos são espaços que incorporam um conjunto de elementos de infraestrutura incluindo aerogeradores. Os parques podem ser estruturas terrestres ou *onshore*, bem como marítimos ou *offshore*.

Dependendo do tipo de parque e, no caso dos terrestres, do tipo de terreno, as fundações utilizadas nos aerogeradores podem variar.

Há vários tipos de fundações usados nas construções de parques *onshore*, como as de Monoestaca, Sapata Pré-Fabricada, Sapata Moldada *in loco* e Fundação sobre estacas. Cada uma desses tipos de fundações pode ser aplicada em determinadas situações, tendo como a maior variante de escolha o tipo de solo onde o parque está sendo instalado.

Para determinar o tipo de solo são realizados estudos geológicos, análises geofísicas e investigações geotécnicas, para se determinar o melhor tipo de fundação para um determinado local, sem riscos para a estrutura e para o meio ambiente (SILVA, 2014).

As fundações monoestacas são geralmente aplicadas em parques *offshore*, no entanto quando a mesma está situada em parques *onshore*, será utilizada em aerogeradores de pequeno porte e em solo com características geotécnicas pobres (ARAÚJO, 2018). Por outro lado, as de sapata pré-fabricadas são fundações aplicadas em solos mais resistentes, geralmente aqueles que são mais rochosos, sendo assim é uma fundação superficial. Basicamente o seu formato superior pode variar entre circular ou poligonal, com nervuras pré-moldadas na parte inferior da mesma sendo feita em concreto armado.

Outro tipo de fundação são as moldados *in loco*. Estas têm um formato básico circular ou octogonal, dado pela distribuição uniforme das cargas causada pela força dos ventos atuando no aerogerador. E por fim, as fundações sobre estacas que são feitas sobre estacas cravadas ou escavadas em solo, (BERTUZZI, 2013).

Os parques *offshore* tem predominância de sua instalação em países com pouca faixa territorial ou fortes índices eólicos no oceano. Nessas localidades os ventos podem chegar a velocidades de até 20% a mais e a energia gerada pode chegar a ser até 70% maior quando comparados com os parques *onshore*. Vale ressaltar que nesse tipo de empreendimento somente os aerogeradores são instalados no oceano, sendo que as demais instalações, como subestação são posicionadas em terra firme.

Tendo em vista que para os mais diversos locais de instalações dos parques teremos diferentes fundações usadas na sua instalação, sendo um dos principais fatores de escolha a profundidade do leito marinho para a escolha das mesmas, como por exemplo em operações de instalações realizadas em até 15m temos as fundações de Monoestaca, 30m geralmente se opta pelas de Gravidade e a partir de 30m a 35m fundações por Treliça.

Mas considerando que a instalação dos aerogeradores se encontra em locais adversos, necessita que a transmissão de energia ocorra por meio de cabos submersos, bem como a operação e manutenção da mesma se dará em um certo grau de restrição por causa dos impactos à fauna e flora do meio marinho. Apesar dessa característica, o potencial de geração dessa modalidade compensa as desvantagens (NASCIMENTO; WALLISON, 2018).

As fundações por gravidade são estruturas de concreto ocas e com fixação na superfície marítima, sendo fabricadas em solo e transportadas para o local de instalação por embarcações, para serem então submergidas e preenchidas com areia. Esse tipo de estrutura é mais utilizado em parques *offshore* e causam impactos ambientais, pois há necessidade de “limpeza” da região onde será instalada inclusive do leito marinho. Porém, esse tipo de estrutura apresenta como vantagem a possibilidade de remoção mais fácil caso haja necessidade.

De modo geral, o processo de instalação e operação de aerogeradores e parques eólicos apresentam impactos ambientais, sejam por ruídos, interferência na flora e fauna por alteração na cobertura vegetal; interferência direta na fauna de pássaros por colisão com as pás dos aerogeradores; bem como na alteração da cobertura vegetal subaquática e interferência na fauna marítima devido às movimentações por transporte, perfurações e explosões (COSTA et. al., 2019). Além disso, após a vida útil, os aerogeradores produzem um passivo ambiental cuja destinação precisa ser estudada para ser feita de forma responsável.

De acordo com Costa (2013), do ponto de vista socioeconômico, os parques instalados geram uma mobilização da população local e uma dinâmica com empregos diretos no período de implantação do empreendimento, empregos indiretos resultantes da dinamização econômica com hospedagens, alimentação, postos de gasolina, entre outros; e benefícios aos donos de propriedades arrendadas. Mas, segundo o mesmo autor mencionado, o desenvolvimento socioeconômico real diverge das expectativas geradas com base nos discursos do estado e das empresas (COSTA, 2013).

De qualquer modo, investimentos dessa magnitude têm influências proporcionais, afetando meio ambiente, economia e sociedade de modo geral. Assim, a melhoria da eficiência de um investimento, no sentido se obter maior retorno, mostra a relevância da análise de investimentos com base em novas possibilidades tecnológicas, uma vez que nesse caso específico de aerogeradores é possível gerar mais energia com torres mais altas.

2.3. Análise de Investimentos

Investimento pode ser entendido como uma aplicação de valor monetário que proporcione retorno. Existem várias opções de investimentos, desde o depósito de um montante em um fundo rentabilizante até a aplicação em produções de bens e/ou serviços.

Mas para se ter conhecimentos se um determinado investimento é rentável é necessário avaliar seus fluxos e calcular os ganhos ou perdas do investimento ao longo do tempo.

Há várias formas de se fazer análise de investimentos. Algumas delas podem ser citadas, tais como: o método da taxa mínima de atratividade, o método do valor presente líquido, método da taxa interna de retorno e o método do *payback* (BORNIA, 2008).

O método da taxa mínima de atratividade (TMA) utiliza uma taxa de juros minimamente aceitável para servir de parâmetro comparativo entre ela e a taxa de retorno do investimento. Se a taxa do investimento for maior que a taxa mínima, o investimento é aceito ou recomendável, mas se a taxa de retorno do investimento for inferior a taxa mínima de atratividade, o investimento é rejeitado ou não recomendado.

O método do valor presente consiste em transformar todo o fluxo de caixa em um único valor presente. Considerando o sinal positivo como entrada de caixa e sinal negativo como saída, ao se alocar todos os valores numa situação de tempo presente, com a obtenção de valor positivo, tem-se a indicação de retorno ao fim do investimento. Mas se o valor presente tiver sinal negativo, indica que o investimento trará prejuízo, sendo desaconselhado.

O método da taxa interna de retorno (TIR) nada mais é do que a identificação da taxa de juros que torna o valor presente líquido do investimento em nulo. Sendo assim, a taxa interna de retorno é utilizada para se comparar com a taxa mínima de atratividade. Se o valor da TIR for menor que a TMA o investimento é desaconselhado, mas se a TIR for maior que a TMA, aceita-se o investimento.

Já o método do *Payback* consiste em identificar o tempo necessário para recuperação do capital investido. Há críticas em relação a essa técnica por não considerar o fluxo de caixa após o período de recuperação de capital, mas é amplamente aplicada e serve para tomada de decisão, principalmente se combinada com outras técnicas.

3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Essa pesquisa pode ser classificada como aplicada, pois segundo Gil (2017) apud Louzada (2019), enfatiza a aplicação de conhecimento já existente. Além disso, segundo Appolinário (2011) apud Louzada (2019), as pesquisas aplicadas podem ocorrer no contexto profissional do pesquisado.

Além de ser aplicada pode-se classificá-la como quantitativa, pois segundo Appolinário (2011) apud Louzada (2019), uma das características desse tipo de pesquisa é a mensuração e expressão numérica de variáveis da pesquisa, além da análise dos resultados que também apresenta predominância de variáveis numéricas. No caso da presente pesquisa, essas variáveis serão representadas pelos dados obtidos pela análise da produção de energia dos parques e seu retorno financeiro frente a tarifa média de energia elétrica cobrada pelo valor da energia produzida.

Foram feitas pesquisas na internet para buscar e coletar os dados acerca dos quais o estudo foi construído, além dos sites dos empreendimentos que foram foco no estudo, bem como informações disponibilizadas no site da ANEEL, para pesquisa e busca de dados.

Foram analisados 4 parques que compõem Complexo Santo Inácio: Garrote, Santo Inácio III, Santo Inácio IV e São Raimundo. Todos entraram em operação em dezembro de 2017. Também foram analisados os dados do Parque Gravier que está em fase de implantação. Os aerogeradores do Complexo Eólico Santo Inácio têm capacidade de 2,1 MW, produzidos pela empresa WEG e possuindo uma altura média de 120m e os aerogeradores da Central Eólica Gravier serão geradores de 4,2 MW, produzidos pela empresa WEG e possuirão uma altura média de 125m.

A informação do montante inicial investido foi obtida em notícia veiculada por site jornalístico (FOCUS, 2020).

O valor tarifário foi obtido no site da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE, Tomando-se como base o valor de janeiro de 2021.

A informação da produção anual foi baseada no valor de produção à 50%, sendo obtida no caso do complexo Santo Inácio, por informações disponibilizada pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE, no manual de Cálculo de Garantia física para fins de comercialização de energia no ambiente de contratação livre – Parques eólicos Garrote, Santo Inácio III, Santo Inácio IV e São Raimundo (EPE, 2019). No caso do parque Gravier, o valor da produção anual à 50% da sua capacidade foi obtida pelo cálculo considerando a potência de 4,2 MW dos 17 aerogeradores, multiplicada por 24 horas diárias, em 365 dias do ano.

Os cálculos do valor total de produção ao ano e tempo de retorno do investimento foram realizados, respectivamente, a partir das equações (1) e (2):

$$VA = P * TE \quad (1)$$

$$A = \frac{VI}{VA} \quad (2)$$

Onde:

P = Potência de produção por hora anual;

TE = Tarifa energética por hora;

VA = Valor total da produção ao ano;

VI = Valor investido no empreendimento;

A = Quantidade de tempo de retorno.

Para o cálculo do tempo de retorno do investimento foi utilizada a razão entre o valor do investimento pelo montante da geração anual, conforme a equação 3:

$$\frac{\text{Valor do investimento}}{\text{Montante da geração anual do complexo}} = \text{tempo de retorno do investimento} \quad (3)$$

4. RESULTADOS

Ao se investir em um empreendimento de grande porte como parques eólicos as empresas além de todos os quesitos em relação ao meio ambiente e requisitos burocráticos também priorizam o retorno financeiro. Estes investimentos acabam se auto pagando ao longo dos anos com a geração contínua apresentada pelos empreendimentos.

A produção anual do Complexo Santo Inácio foi obtida a partir do cálculo de 50% da potência outorgada, cujo somatório consta na Tabela 1.

Tabela 1: Capacidade instalada do parque eólico Santo Inácio

Empreendimentos	Potência Outorgada (kW)	P50 _{cert} (MWh/ano)
Garrote	23100	111.754
Santo Inácio III	29400	144.290
Santo Inácio IV	23100	112.818
São Raimundo	23100	118.113
Total	98.700	486.975

P50_{cert}: Potência produzida anualmente a 50% de certeza

Fonte: ANELL, 2021

O Complexo Eólico Santo Inácio, localizado na cidade de Icapuí no estado do Ceará, é formado pelos empreendimentos das Centrais Eólicas Garrote, São Raimundo, Santo Inácio III e Santo Inácio IV. De acordo com dados da ANEEL (2021), a produção total do complexo é de 98700 kW ou 98,7 MW, como apresentado na Tabela 1. Essa produção se deriva dos 47 aerogeradores instalados ao longo dos 4 empreendimentos, tendo uma potência de 2,1 MW em cada aerogerador (AliançaEnergia, 2021).

A tabela x apresenta valores de produção do complexo por parque eólico.

Com relação a esse complexo temos um investimento estimado de R\$ 600 milhões de reais sobre sua construção (FOCUS, 2020), passando da fase da supressão vegetal a operação, considerando que o complexo começou a operar em dezembro de 2017.

4.1 Geração anual baseada na instalação atual

Aplicando-se o método do Payback, e considerando o valor tarifário de R\$ 225,281 para cada MWh, de acordo com dados da CCEE (2021), tem-se os seguintes cálculos.

- Montante anual da produção do complexo Santo Inácio pela tarifa:

$$486.975 \left(\frac{\text{MWh}}{\text{ano}} \right) \times (\text{R\$ } 225,28) \left(\frac{1}{\text{MWh}} \right) = \text{R\$ } 109.705.728,00 \times \frac{1}{\text{ano}} \quad (4)$$

Para se determinar o tempo de retorno do valor investido, considerando a produção anual instalada, pode-se utilizar a razão entre o valor do investimento pelo valor monetário do retorno proveniente da produção anual do complexo com sua capacidade instalada atualmente, conforme a equação 3. Aplicando os valores de R\$ 600 milhões investidos e do montante gerado anualmente pelo complexo com a capacidade atualmente instalada, tem-se:

$$\frac{\text{R\$ } 600.000.000,00}{\text{R\$ } 102.722.048,00} = 5,47 \text{ ou } 5 \text{ anos e } 6 \text{ meses} \quad (5)$$

Portanto, o tempo de retorno do investimento baseado na capacidade atualmente instalada pode ser estimado em 5 anos e 6 meses. Ou seja, se pode observar que um alto investimento nesse Complexo Eólico gera um retorno rápido de uma média de 6 anos. Além disso, um aerogerador tem uma vida útil de 20 anos, ou seja, são 6 anos necessários para pagar o investimento inicial e 14 anos gerando lucro para a empresa que investiu.

4.2 Geração anual baseada nos aerogeradores propostos

No segundo caso, a Central Eólica Gravier é um parque que se encontra na fase de implantação em 2021, também no município de Icapuí – CE, onde serão instalados 17 aerogeradores com potência de 4,2 MW cada, com previsão para comissionamento no ano de 2022, com a totalidade de 71,4 MW de potência referente ao projeto, segundo dados da ANEEL (2021). Este é um investimento de aproximado R\$ 300 milhões de reais (AliançaEnergia, 2021).

Como o parque ainda está na fase de implantação, serão usados dados teóricos para os cálculos, tais como a média anual de 312.732 (MWh/ ano), sendo está a produção esperado se a Central Eólica produzir o ano inteiro a

base de 50% de sua capacidade máxima, seguindo os cálculos aplicados anteriormente e usando a mesma tarifa de R\$ 225,28 MW/h, é possível realizar algumas estimativas.

- Montante anual da produção para o parque Gravier:

$$312.732 \left(\frac{\text{MWh}}{\text{ano}} \right) * (\text{R\$ } 225,28) \left(\frac{1}{\text{MWh}} \right) = \text{R\$ } 70.452.264,94 \frac{1}{\text{ano}} \quad (6)$$

Aplicando os valores do investimento e do montante anual da produção para o parque Gravier na equação 3, tem-se o tempo de retorno do investimento no parque:

$$\frac{\text{R\$ } 300.000.000,00}{\text{R\$ } 70.452.264,94/\text{ano}} = 4,26 \text{ anos ou 4 anos e 3 meses} \quad (7)$$

Mesmo a utilizar dados de geração média anual teóricos tem-se um retorno do investimento em média em 4 anos. Levando em conta a potência unitária de cada gerador 4,2 MW desse empreendimento, tomando a estimativa de 20 anos de vida útil dos aerogeradores, é possível calcular o valor referente ao que os dois Complexos podem gerar e compará-los:

- Valor da produção do Complexo Eólica Santo Inácio subtraindo-se o valor do investimento:

$$\text{R\$ } 109.705.728,00 \times 14 \text{ anos} = \text{R\$ } 1.535.880.192,00 \quad (8)$$

- Valor da produção do parque da Central Eólica Gravier, subtraindo-se o valor do investimento:

$$\text{R\$ } 70.452.264,94 \times 16 \text{ anos} = \text{R\$ } 1.127.236.239,04 \quad (9)$$

Pelos cálculos apresentados o Complexo Eólica Santo Inácio mesmo com maior tempo de *Payback*, com uma média de 6 anos, terá maior lucro se comparado a Central Eólica Gravier, está por sua vez de 4 anos, mas quando comparado o tamanho dos dois parques vemos que Gravier conta somente com 17 aerogeradores e seu investimento foi metade do Complexo Santo Inácio, logo o mesmo se sobressai pelo baixo investimento e maior tecnologia alocado ao mesmo.

4.3 Simulação da substituição dos aerogeradores do complexo Santo Inácio por aerogeradores de Gravier

De posse da informação da produção anual em valores monetários do campo Santo Inácio e do parque Gravier é possível simular a substituição dos aerogeradores do campo Santo Inácio por aerogeradores do parque Gravier e comparar os ganhos para o mesmo intervalo de tempo.

Se o campo Santo Inácio possui 47 aerogeradores e produz R\$ 102.722.048,00 anualmente, dividindo-se o valor por 47 aerogeradores, tem-se uma média de produção dos aerogeradores do complexo de Santo Inácio.

$$\frac{\text{Produção anual do campo ou parque}}{\text{Nº de aerogeradores do campo ou parque}} = \text{Produção anual por aerogerador} \quad (10)$$

Para o campo Santo Inácio:

$$\frac{\text{R\$ } 109.705.728,00}{47} = \text{R\$ } 2.334.164,43 \text{ por aerogerador anualmente} \quad (11)$$

Para o parque Gravier:

$$\frac{\text{R\$ } 70.452.264,94}{17} = \text{R\$ } 4.144.250,88 \text{ por aerogerador anualmente} \quad (12)$$

Assim, com a hipótese de substituição dos 47 aerogeradores do complexo Santo Inácio pelos aerogeradores do parque Gravier, obtém-se a seguinte produção anual para o complexo:

$$47 \times \text{R\$ } 4.144.250,88 = \text{R\$ } 194.779.791,30 \quad (13)$$

A diferença entre esses valores anuais de produção é de R\$ 85.074.063,36 e equivale a uma produção acrescida de 77,54% da produção atual.

5. CONCLUSÕES

Com os resultados dessa pesquisa foi possível analisar a viabilidade financeira do investimento na substituição dos aerogeradores do complexo eólico de Santo Inácio pelos aerogeradores do parque Gravier, bem como verificar os períodos de retorno dos 2 empreendimentos nas condições atuais do complexo Santo Inácio e nas condições estimadas do parque Santo Inácio.

Os resultados indicaram que o tempo de retorno dos empreendimentos é de aproximadamente 5,47 anos para o complexo Santo Inácio e de 4,26 anos esperados para o parque Gravier. Além disso, considerando a hipótese da substituição dos aerogeradores do campo Santo Inácio pelos do parque Gravier, o empreendimento geraria uma produção anual 77,54% maior do que nas condições atuais. As características de potência, altura e demais fatores tecnológicos tem influência significativa na eficiência dos empreendimentos.

Diante disso, pode-se afirmar que os objetivos da pesquisa foram contemplados. Algumas limitações do trabalho podem ser mencionadas, tais como: as informações financeiras não serem exatas, pois as empresas normalmente não disponibilizam os valores investidos exatos. Além disso, o valor mensurado para as novas torres e aerogeradores foram estimados com base em valores referentes a um investimento feito no ano de 2020, estando sujeitos às variações ocorridas nos últimos meses com aspectos do mercado atual.

Como oportunidade de trabalhos futuros indica-se pesquisas sobre a destinação responsável do passivo gerado pelo descarte das partes das torres e aerogeradores após seus anos de vida útil. Também pode-se realizar um estudo baseando-se no potencial eólico referente às novas altitudes propostas para os novos aerogeradores.

6. REFERÊNCIAS

ABEEOLICA. **Eólica: energia para um futuro inovador**. [S. l.], 20 maio 2020. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/energia-eolica-o-setor/>. Acesso em: 6 set. 2021.

ALIANCA ENERGIA. **Aliança anuncia implantação de dois novos projetos eólicos**. [S. l.], 15 jun. 2020. Disponível em: <https://aliancaenergia.com.br/br/alianca-anuncia-implantacao-de-dois-novos-projetos-eolicos/>. Acesso em: 15 out. 2021.

ALIANÇA ENERGIA. **Aliança Energia capta R\$ 220 milhões com a quarta emissão de debêntures**. [S. l.], 24 ago. 2021. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53184747/alianca-energia-capta-r-220-milhoes-com-a-quarta-emissao-de-debentures>. Acesso em: 15 out. 2021.

ANEEL. **Capacidade instalada em 2021 supera 1 gigawatt; eólicas são o destaque pelo quarto mês seguido**. [S. l.], 4 maio 2021. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVlZ6/content/capacidade-instalada-em-2021-supera-1-gigawatt-eolicas-sao-o-destaque-pelo-quarto-mes-seguido/656877?inheritRedirect=false&redirect=http%3F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fsala-de-imprensa-exibicao-2%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_zXQREz8EVlZ6%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D3. Acesso em: 25 jul. 2021.

ANEEL. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL - SIGA**. [S. l.], 11 mar. 2020. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOiJR9>. Acesso em: 6 set. 2021.

ARAÚJO, Kaique. **Análise do comportamento estrutural de blocos de concreto armado sobre estacas como fundação para aerogerador onshore**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal: UFRN, 2018.

BARROS, DIOGO. **Análise dinâmica de aerogeradores offshore com fundação tipo monopilar**. Orientador: Prof. Dr. Paulo Marcelo Vieira Ribeiro. 2020. Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco. Recife: UFPE, 2020.

BERTUZZI, Pietro. **Estudos de aspectos de engenharia para implantação de torres eólicas**. Orientador: Orientadora: Prof.^a Patrícia de Oliveira Faria, PhD. Coorientador: Prof. Marcos Aurélio M. Noronha, Dr. 2013. Graduação em Engenharia Civil (Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2013.

BORNIA, Antonio Cezar. **Gestão Econômica**. In: BATALHA, Mário Otávio (organizador). **Introdução à Engenharia de Produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

CÁLCULO DE MONTANTE DE GARANTIA FÍSICA DE ENERGIA. **Cálculo de Garantia Física para fins de comercialização de energia no Ambiente de Contratação Livre - Parques Eólicos: Garrote, Santo Inácio III, Santo Inácio IV e São Raimundo**, [s. l.], 10 abr. 2019.

CARVALHO, Itaiara. **Energia eólica offshore: potencial e desafios de implantação**. Orientador: Professor Ubirajara Rocha Meira, M. Sc. 2017. TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (Graduação) - Universidade Federal de Campina Grande, [S. l.], 2017.

CCEE. **Preços Semanais**. [S. l.], 4 jan. 2021. Disponível em: http://www.ccee.org.br/preco_adm/precos/semanal/. Acesso em: 15 out. 2021.

ALIANCA ENERGIA. **Complexo Eólico Santo Inácio celebra novas conquistas**. [S. l.], 4 dez. 2017. Disponível em: <https://aliancaenergia.com.br/br/complexo-eolico-santo-inacio-celebra-novas-conquistas/>. Acesso em: 15 out. 2021.

COSTA, Mônica Antonizia de Sales. COSTA, Monilson de Sales. COSTA, Maria Monizia de Sales Costa. LIRA, Marcos Antônio Tavares. **Impactos Socioeconômicos, Ambientais e Tecnológicos Causados pela Instalação dos Parques Eólicos no Ceará**. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 34, n. 3, 399411, 2019.

COSTA, Rafael Fonseca da. **Ventos que transforma?** Um estudo sobre o impacto econômico e social da instalação dos Parques Eólicos no Rio grande do Norte / Brasil. Dissertação de mestrado em Estudos Urbanos e Regionais. Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2015.

GONÇALVES, André. **Fundações por gravidade para aerogeradores offshore**: estudo de viabilidade para São Pedro de Muel. Orientador: Doutora Eng^a Paula F. da Silva, Professora Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa. Doutor Joaquim M. M. Pombo, Instituto Hidrográfico. 2017. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Geológica (Mestrado) - Faculdade de ciências e tecnologias Universidade de Nova Lisboa, [S. l.], 2017.

GOUVEIA, Yesmary. **Construção de um Parque Eólico Industrial**. Orientador: Orientador (es): Especialista, Engenheiro João António Antunes Hormigo Doutor Pedro Matos Soares. 2013. Dissertação de natureza científica para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Área de Especialização de Edificações (Especialização) - INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA, [S. l.], 2013.

IBERDROLA. **Como os aerogeradores se sustentam no mar?**. [S. l.], 1 jan. 2021. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/fundacoes-aerogeradores>. Acesso em: 29 ago. 2021.

LÔBO, Júlia. **ESTUDO DO PROJETO GEOTÉCNICO DE FUNDAÇÃO DE UMA TURBINA EÓLICA**. Orientador: Leonardo de Bona Becker. Alessandra Conde de Freitas. 2018. TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (Graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, [S. l.], 2018.

PESTANA, Diogo. **Sistemas estruturais para torres eólicas**. Orientador: Orientador José Manuel Martins Neto dos Santos Coorientador Patrícia Carlota Costa Escórcio. 2016. Mestre em Engenharia Civil (Mestrado) - UNIVERSIDADE DA MADEIRA, [S. l.], 2016.

RODRIGUES, HENRIQUE. **ESTUDO DE FUNDAÇÃO DIRETA DE AEROGERADORES COM MÉTODOS NUMÉRICOS**. Orientador: Prof. Daniel Domingues Loriggio, Dr. 2019. Mestre em Engenharia Civil (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2019.

SALES, Matheus. **APLICAÇÃO DE MONOESTACAS CRAVADAS EM FUNDAÇÕES DE AEROGERADORES OFFSHORE**. Orientador: Prof. Dr. Alfran Sampaio Moura. 2018. Graduação em Engenharia Civil (Graduação) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ, [S. l.], 2018.

SANTOS, Alice Alves Silva. Otimização de torre de aço para aerogerador eólico. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Programa de pós-graduação em engenharia civil. Faculdade de Engenharia. Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

SILVA, Manuel. **Tipificação de fundações de torres eólicas em parques industriais, para diversos tipos de solos**. Orientador: Especialista, João António Antunes Hormigo (Eq. Prof. Adj. ISEL) Doutor, Pedro Matos Soares (Eq. Prof. Adj. ISEL). 2014. Mestre em Engenharia Civil na Área de Especialização de Edificações (Mestrado) - INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA, [S. l.], 2014.

VARELA, Átila. Voltalia assina contrato para manutenção e operação de complexo eólico em Icapuí: Com investimento estimado em cerca de R\$ 600 milhões, o complexo entrou em operação no ano de 2017. [S. l.], 6 out. 2020. Jornal Focus. Disponível em: <https://www.focus.jor.br/voltalia-assina-contrato-para-manutencao-e-operacao-de-complexo-eolico-em-icapui/>. Acesso em: 15 out. 2021.

WEG vai fornecer aerogeradores para quatro parques eólicos da Aliança Energia no Rio Grande do Norte. [S. l.], 20 jan. 2020. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/weg-vai-fornecer-aerogeradores-para-quatro-parques-eolicos-da-alianca-energia-no-rio-grande-do-norte.html>. Acesso em: 15 out. 2021.