

Avaliação técnica e ambiental da geração de energia eólica em Salinópolis, Pará

Verificar os benefícios da energia eólica em pequena escala em uma escola de Salinópolis - PA. O aerogerador RAZEC 266 foi instalado no colégio ABRE, com o objetivo de reduzir os custos de energia elétrica, porém o mesmo foi desinstalado por falta de renovação contratual. O objetivo do trabalho é demonstrar os benefícios que a energia eólica poderia trazer ao colégio caso o mesmo ainda estivesse em funcionamento e avaliar uma possível reativação. A análise do recurso eólico foi realizada pela lei de Hellman, cálculos de potência, geração de energia e payback, além dos dados da CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito). Com a análise do sistema eólico, foi verificada a viabilidade do aerogerador no colégio, os benefícios econômicos e sociais, e que sua reativação traria benefícios, e o retorno do investimento seria possível em torno de 10 anos.

Palavras-chave: Energia Eólica; Aerogerador vertical; Dimensionamento; Salinas-PA.

Technical and environmental evaluation of wind energy generation in Salinópolis, Pará

Check the benefits of small-scale wind energy in a school of Salinópolis - PA. The RAZEC 266 wind turbine was installed in the ABRE School, with the objective of saving energy, but it was deinstalled due to lack of contract renewal. The objective of this work is to demonstrate the benefits that wind energy could bring to the school if it were still in operation and to evaluate a possible reactivation. The analysis of the wind resource was performed using Hellman's law, power, energy generation and payback calculations, as well as data from CRESESB. With the analysis of the wind energy system, it was verified the viability of the wind turbine in the school, the economic and social benefits, and that its reactivation would bring benefits, and the return on investment would be possible in 10 years.

Keywords: Wind energy; Vertical wind turbine; Sizing; Salinas-PA.

Topic: **Engenharia Ambiental**

Received: **08/10/2021**

Approved: **27/10/2021**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Rhana Roberta Caldas Dias 

Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3064308331788123>
<http://orcid.org/0000-0003-1391-4074>
rhana.beta@hotmail.com

Leonardo Correa Cordeiro 

Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8964635740315180>
<http://orcid.org/0000-0001-9620-4005>
leocordeiro7991@gmail.com

Fernanda Costa de Lima 

Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2809561522400169>
<http://orcid.org/0000-0002-8626-8408>
limafr@gmail.com

Otávio Andre Chase 

Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6236953777548570>
<http://orcid.org/0000-0003-0246-8339>
chase.ufra@gmail.com

Marcelo Costa Santos 

Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8380189608965320>
<http://orcid.org/0000-0002-2352-2050>
marcelo.santos@ufra.edu.br

Pedro Silvestre da Silva Campos 

Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9779947820072434>
<http://orcid.org/0000-0001-8476-5569>
pedro.campos@ufra.edu.br

Emerson Cordeiro Morais 

Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8291688787214146>
<http://orcid.org/0000-0002-5419-2023>
emerson.morais@ufra.edu.br

Glauber Tadaiesky Marques 

Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8415525895204561>
<http://orcid.org/0000-0003-3735-8455>
glauber.marques@ufra.edu.br

Giovani Rezende Barbosa Ferreira 

Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9769995847701809>
<http://orcid.org/0000-0003-1167-5452>
giovani.rezende@hotmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.010.0028

Referencing this:

DIAS, R. R. C.; CORDEIRO, L. C.; LIMA, F. C.; CHASE, O. A.; SANTOS, M. C.; CAMPOS, P. S. S.; MORAIS, E. C.; MARQUES, G. T.; FERREIRA, G. R. B.. Avaliação técnica e ambiental da geração de energia eólica em Salinópolis, Pará. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.10, p.339-351, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.010.0028>

INTRODUÇÃO

A energia eólica define-se como a energia cinética contida nas massas de ar em movimento, e o aproveitamento dela ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, que ocorre por meio do emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores para a geração de eletricidade. Barbosa (2004), afirma que a geração de energia a partir de fontes renováveis é uma alternativa que parece bastante óbvia, mas que ainda vem sendo vista como segundo plano. Contudo, pode-se observar o crescimento do setor eólico, principalmente na região norte e nordeste, que segundo Alves (2010) são consideradas as áreas com os melhores potenciais para aplicações em energia eólica no Brasil.

O país é destaque entre os que vem demonstrando interesse e investimentos na fonte eólica, devido algumas razões, como a de apresentar território apropriado para a aplicação e a necessidade de diversificar a matriz energética (FONSECA et al., 2018). Com isso, a ANEEL (2002) afirma que os levantamentos e estudos já realizados e os que estão em andamento têm dado suporte e motivado a exploração comercial da energia eólica no país.

Aroeira et al. (2017) ressalta que com o aumento da competitividade internacional no setor, notam-se melhorias na tecnologia, os parques eólicos ganharam em fator de capacidade e tornam os preços da geração eólica ainda mais competitivos, além de que em alguns países, como Brasil e México, o preço dessa energia já compete diretamente com a dos combustíveis fósseis.

Ao destacar a região norte, pode se dar ênfase no Estado do Pará, que possui grande potencial energético devido ter sua localização no meridiano, além de ser o segundo maior do Brasil. Barbosa (2004) destaca que com o aumento da necessidade energética mundial ocorre devido a melhoria dos padrões de vida de países em desenvolvimento, e Martins (2008), afirma que o assunto trouxe para a pauta a preocupação com alguns aspectos para a política e planejamento energético de economias emergentes que não podem utilizar uma matriz completamente fóssil. Logo, pode-se notar uma tendência de crescimento das fontes de energias renováveis.

Barros (2011), afirma ainda que um dos benefícios da geração eólica em pequena escala, que é onde enquadra-se o caso em estudo, é o seu alcance e proximidade dos utilitários, permitindo-os decidir qual parcela poderão produzir, de toda a energia que consomem. Para que o investimento nessa fonte se mantenha no país, ela deve ser cada vez mais explorada e estudada.

Levando todos os fatores apresentados em conta, o foco deste trabalho é a realização da análise da viabilidade da fonte eólica no município de Salinópolis, no Estado do Pará, área litorânea, onde ela possui aerogeradores instalados, entre eles, o da Academia Bordoni de Referência Educacional (ABRE), onde o mesmo foi o retorno sugerido da concessionária de energia do estado do Pará. Atualmente o protótipo encontra-se desativado, devido entraves burocráticos. Tendo em vista o crescimento das energias renováveis e o desligamento do aerogerador no colégio ABRE, em Salinópolis, a análise dos benefícios (ambientais e socioeconômicos) do aerogerador serão estudados.

Ao destacar o setor em um panorama mundial, a organização sem fins lucrativos que trabalha para

o sistema energético baseado em tecnologias de energia renovável e tendo a energia eólica como foco principal é a Associação Mundial de Energia Eólica (WWEA, 2014). Barcellos (2014) descreve a mesma como uma plataforma de comunicação para os agentes de energia eólica, que aconselha os governos nacionais e organizações internacionais sobre as políticas favoráveis para a implementação de energia eólica, com a intenção de facilitar a transferência de tecnologia internacional disseminando a tecnologia limpa.

Sobre o potencial eólico brasileiro, de acordo com a ANEEL (2002), ainda existem divergências sobre valores exatos, porém nos estudos as estimativas indicam valores consideráveis. Com isso, os estudos já realizados proporcionaram suporte e motivação suficientes para a exploração comercial da energia eólica no país. Segundo Simas et al. (2013) o incentivo a energia renovável no Brasil, está relacionado principalmente com a busca por diversificação da matriz elétrica, assim como a segurança no fornecimento de energia, incentivo ao desenvolvimento de novas indústrias e a geração de empregos. Alves (2010) afirma que em 2001 durante uma grande crise energética no Brasil, notou-se a partida de empreendedores interessados em investir na construção e operação de usinas eólicas no Brasil.

Barcellos (2014) reitera que a energia eólica provém da energia solar, pois o aquecimento diferenciado da atmosfera é responsável pelo deslocamento das massas de ar, e o vento também é influenciado por efeitos naturais como continentalidade, maritimidade, latitude, altitude, e a rugosidade do solo, entre outros. Logo, Machado (2002), afirma que essa energia é inesgotável, tanto como fonte de calor como quanto fonte de energia elétrica.

Alves (2010), sinaliza que no Brasil as regiões Nordeste e Norte apresentam vantagens importantes na opção pelo investimento em geração de energia eólico-elétrica, afirmando ainda a que o potencial eólico brasileiro tem despertado o interesse de fabricantes e representantes dos principais países envolvidos com energia eólica, devido a excelente qualidade nos níveis de radiação solar e ventos fortes. Afirmando ainda que a criação da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), demonstra o interesse de brasileiros envolvidos em energia eólica pelo crescimento da penetração dessa tecnologia no mercado Nacional.

Ao destacar a região norte, Borges (2011), afirma que no Pará os desafios não estão apenas associados à disponibilidade de energia, mas também a forma que ela é gerada. A região possui grande potencial hidroelétrico, que apesar de ser considerado “energia limpa”, implica em diversos impactos ambientais na construção de projetos hidroelétricos. Diante disso, verificou-se que o estado do Pará precisa diversificar sua matriz elétrica, principalmente em detrimento da problemática ambiental. Neste sentido, destaca-se quais transformações a matriz elétrica paraense deve sofrer para promover o desenvolvimento sustentável no estado, e quais os benefícios a energia eólica tem a oferecer para a população.

Sobre os aerogeradores, Fonseca et al. (2018), qualificam as turbinas eólicas pela capacidade de captar energia cinética do vento e convertê-la em elétrica e são caracterizadas de acordo com a potência que são capazes de fornecer. Essas normalmente são utilizadas para a geração de energia elétrica quando constituídas de um motor eletromagnético, mas também podem ser utilizadas para outros fins, como as turbinas eólicas podem ser utilizadas em sistemas de bombeamento ou outros sistemas mecânicos.

Já o payback é o retorno de investimento, e segundo Simas et al. (2013), é um estudo de viabilidade

econômica do empreendimento, e possui simplicidade no seu cálculo, logo, não exige nenhuma sofisticação, somente sucessivas subtrações. O payback simples avalia a atratividade de um investimento, porém, não serve para seleção entre possibilidades de investimento. O payback simples é de fácil interpretação, por isso foi o método utilizado para mostrar o tempo necessário para o investimento ser recuperado pelo colégio.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo está localizada na cidade de Salinópolis, a uma latitude $00^{\circ}36'49''$ sul e a uma longitude $47^{\circ}21'22''$ oeste, na Mesorregião do Salgado do Nordeste Paraense, e segundo o IBGE, possui uma área territorial de 226,120 km² e 37.421 habitantes. O colégio ABRE, segundo o Censo Escolar (2019), possui o total de 305 alunos.

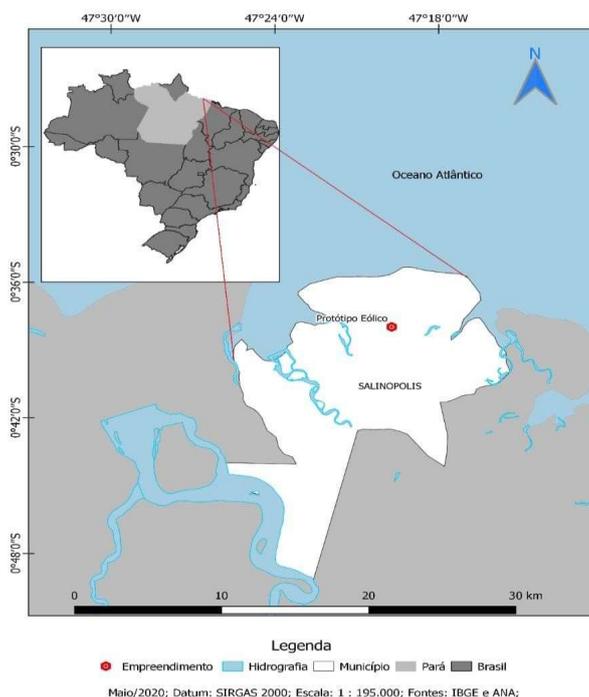


Figura 1: Mapa de localização do protótipo eólico em Salinópolis.

O clima do NE do Pará, região onde encontra-se Salinópolis é classificado como quente e úmido, (KÖPPEN, 1948; RANIERI et al., 2015), e com média anual em torno de 80 % a 90 % de umidade, considerada uma alta taxa de umidade relativa do ar (MARTINS et al., 2004). Para Martorano et al. (1993) afirma também que o nordeste paraense em geral, possui clima quente e úmido com período chuvoso acentuado entre dezembro e maio e menos chuvoso no restante do ano.

O aerogerador instalado no colégio ABRE é do modelo RAZEC 266, fabricado pela ENERSUD. Possui eixo vertical e de acordo com a fabricante é considerado próprio para áreas urbanas devido possuir suas características próprias para isso como: baixa velocidade rotacional, baixo nível de ruído e adequação a ventos turbulentos. A fabricante afirma ainda que a turbina foi desenvolvida para atender as necessidades de energia de uma residência de classe média (dependendo da velocidade do vento), ou demandas de estações de telecomunicação, bombeamento de água, iluminação pública de condomínios ou residenciais, dentre outros. A tabela 1 reúne algumas características do aerogerador.



Figura 2: Turbina RAZEC 266 instalada no colégio.

Tabela 1: Características do aerogerador

Características do Razec 266	
Diâmetro do rotor	2,0 m
Altura das pás	2,66
Potência a 12 m/s	1500 watt
Rotação a 12 m/s	60 a 180 rpm
Número de pás	3
Tipo de pás	Prismática, aerofólio assimétrico
Velocidade de partida	2,5 m/s
Torque de partida	0,3 Nm
Controle de velocidade	Stall e freio eletromagnético
Proteção contra altas velocidades	Stall e freio eletromagnético
Sistema magnético	Neodímio (imã permanente)
Sistema elétrico	Trifásico
Tensão de saída	24/48/220/400 volts
Topologia do alternador	Fluxo axial (com estator encapsulado em resina epóxi)
Peso total (alternador+pás+cab.rot.)	100 kg
Material anti corrosão	Alumínio/Inox/Mat. Galvanizado
Balanceamento	Estático (confirmação após pintura)

No aerogerador instalado no colégio ocorre transformação ativa, que é definida como a que pode ser convertida em outra forma de energia, expressa em quilowatts-hora (kWh). O sistema aerogerador é conectado à rede elétrica convencional (CELPA, 2016). Informações obtidas com o colégio informam que o aerogerador atende um padrão 1P - 30-a no ponto do alimentador SL-04 (SE Salinópolis), possui baixa tensão (127/220), e demanda de 4 kW, o que dessa maneira atende a solicitação de microgeração Eólica, sendo que o transformador BL 878 de 112,5 kVA, possui 56% de carregamento.

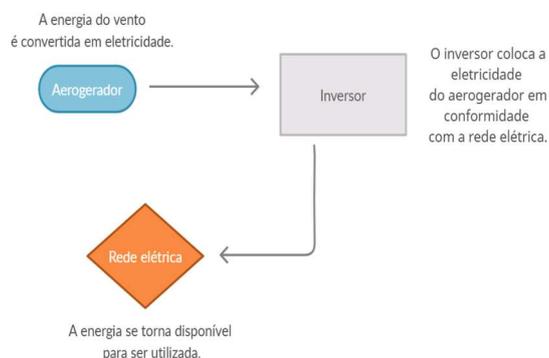


Figura 3: Configuração do sistema do aerogerador.

No sistema interligado à rede de distribuição, ilustrado na Figura 3, Fonseca et al. (2018) destacam que não se faz necessário um sistema de armazenamento, pois o produtor trabalha em paralelo com a distribuidora, o que caracteriza a geração on-grid. De acordo com consulta a CRESESB, a média anual de

ventos para a região é apresentada na tabela 1.

É possível notar que as velocidades médias para a maioria dos meses estão abaixo da velocidade considerada aproveitável para geração eólica (acima de 7 m/s), no entanto, existem aerogeradores projetados para dispor um melhor aproveitamento a velocidades reduzidas (SILVA, 2009).

Tabela 1: Dados de vento em trimestres.

Atlas do potencial eólico brasileiro		Dados do vento a 50m de altura				
Grandeza	Unidade	Dez-Fev	Mar-Mai	Jun-Ago	Set-Nov	Anual
Velocidade média do vento	m/s	6,34	4,43	6,31	9,03	6,53

A lei de Hellmann é uma equação que determina a velocidade do vento em diferentes alturas, e é válida para terrenos com estruturas relativamente simples. Machado et al. (2008) destacam que em terrenos complexos se sobrepõem os efeitos da rugosidade do terreno, relevo e obstáculos locais, de tal forma que é muito difícil, sem ter grande experiência, encontrar um expoente adequado. Por isso foi utilizada para o cálculo de velocidade do vento, é expressa na seguinte equação (1). Na tabela 3, apresenta-se o fator de rugosidade e seus respectivos terrenos.

$$Vh_2 = Vh_1 * \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^n \quad (1)$$

Sendo: h_1 = Altura medida pela estação meteorológica;

h_2 = Altura de interesse;

Vh_1 = Velocidade do vento na altura medida;

Vh_2 = Velocidade do vento na altura de interesse;

n = fator de rugosidade.

Tabela 2: Fator de rugosidade do terreno.

Descrição do terreno	Fator de rugosidade (n)
Terreno sem vegetação	0,1
Terreno gramado	0,12
Terreno cultivado	0,19
Terreno com poucas árvores	0,23
Terreno com muitas árvores ou poucas edificações	0,26
Florestas	0,28
Zonas urbanas sem edifícios	0,32

Utilizando a Lei de Hellman, aplicou-se a Equação 1 para calcular para os seguintes trimestres, sendo que a altura medida foi de 12,2 m (7 m de prédio e 5,2 m de aerogerador):

Dezembro – Fevereiro calculado pela equação 1:

$$Vh_2 = 6,34 * \left(\frac{12,2}{50}\right)^{0,26} = 4,393 \text{ m/s}$$

Março – Maio calculado pela equação 1:

$$Vh_2 = 4,43 * \left(\frac{12,2}{50}\right)^{0,26} = 3,069 \text{ m/s}$$

Junho – Agosto calculado pela equação 1:

$$Vh_2 = 6,31 * \left(\frac{12,2}{50}\right)^{0,26} = 4,372 \text{ m/s}$$

Setembro – Novembro calculado pela equação 1:

$$V_{h2} = 9,03 * \left(\frac{12,2}{50}\right)^{0,26} = 6,257 \text{ m/s}$$

Ao observar a Tabela 1, a potência gerada na velocidade de 12 m/s é de 1500 W (ENERSUD, 2010), podemos afirmar que por ser uma relação linear (OGATA, 2010), a 4,393 m/s a potência real é de 549,125 W ou 0,549 kW, para o trimestre de dezembro a fevereiro.

$$12 \frac{m}{s} - 1500 \text{ w} \quad (2)$$

$$4,393 \frac{m}{s} - x$$

$$P_{\text{real}} = 549,125 \text{ W}$$

Logo, também pode-se calcular a Potência Real para os trimestres seguintes, utilizando da relação da equação 2 para os trimestres:

P_{real} para março-maio calculado pela equação 2:

$$12 \frac{m}{s} - 1500 \text{ w}$$

$$3,069 \frac{m}{s} - x$$

$$P_{\text{real}} = 383,625 \text{ W}$$

P_{real} para junho-agosto calculado pela equação 2:

$$12 \frac{m}{s} - 1500 \text{ w}$$

$$4,372 \frac{m}{s} - x$$

$$P_{\text{real}} = 546,5 \text{ W}$$

P_{real} para setembro-novembro calculado pela equação 2:

$$12 \frac{m}{s} - 1500 \text{ w}$$

$$6,257 \frac{m}{s} - x$$

$$P_{\text{real}} = 782,125 \text{ W}$$

Com o valor da Potência real, pode-se também estimar a geração de energia para cada trimestre, que se dá pela fórmula:

$$E = P_{\text{real}} [kW] \times \text{mês} [horas] \quad (3)$$

Estima-se a geração trimestral, de acordo com os valores de Potência Real obtidos da equação 1. Para mês (horas), foi utilizado 720 horas, onde considerou-se que: um mês = 30 dias, e cada dia = 24 horas, logo = 30 x 24 = 720, multiplicando esse valor por 3, obtêm-se as horas em trimestre, que são 2160 horas.

E Dez a Fev calculado pela equação 3:

$$E_{\text{Dez - Fev}} = 0,549 \text{ kW} \times 2160 \text{ h}$$

E Dez – Fev = 1185,84 kWh **E Mar a Mai** calculado pela equação 3:

$$E_{\text{Mar - Mai}} = 0,383 \text{ kW} \times 2160 \text{ h}$$

E Mar – Mai = 827,28 kWh **E Jun a Ago** calculado pela equação 3:

$$E_{\text{Jun - Ago}} = 0,547 \text{ kW} \times 2160 \text{ h}$$

E Jun – Ago = 1181,52 kWh **E Set a Nov** calculado pela equação 3:

$$E_{Set - Nov} = 0,782 \text{ kW} \times 2160h$$

$$E_{Set - Nov} = 1689,12 \text{ kWh}$$

Também é possível obter a geração anual, que se dá pela soma das energias geradas ao longo do trimestre pela equação 4:

$$E(\text{ano}) = E_{Dez a Fev} + E_{Mar a Mai} + E_{Jun a Ago} + E_{Set a Nov} \quad (4)$$

Logo:

$$E(\text{ano}) = 1185,84 \text{ kWh} + 827,28 \text{ kWh} + 1181,52 \text{ kWh} + 1689,12 \text{ kWh} = 4883,76 \text{ kWh}$$

Voltando ao retorno de investimento, Leismann et al. (2009) afirmam que o payback representa o tempo em que o investidor recebe de volta os recursos investidos. O cálculo do payback do sistema deve levar em consideração o investimento total realizado e a geração média mensal do sistema eólico (SOLAR, 2016). O demonstrativo utilizado em Solar (2016) é para energia solar, mas foi adaptado para a energia eólica. Leismann et al. (2009) exemplificam o método com: “ao investir R\$ 50 mil em uma atividade qualquer, das receitas, descontados todos os custos desembolsáveis, em quanto tempo essas sobras acumuladas atingem os R\$ 50 mil investidos?”. O cálculo é feito pela equação abaixo:

$$\text{Payback: } \frac{\text{investimento}}{\text{Cm} \times \text{Valor tarifário}} \quad (5)$$

Sendo que: payback em meses, investimento em R\$, Consumo mensal em kWh/mês, valor tarifário em R\$/kWh.

Tabela 3: Itens que contribuem para o custo do investimento inicial.

Componentes	Valor (R\$)
Turbina RAZEC 266	22.000,00
Estruturas de fixação	7.000,00
Serviço de Instalação (30%)	8.700,00
Total	37.700,00

Levando em consideração aspectos como a geração mensal do sistema (kWh/mês), (o consumo mensal foi a média do valor gerado anualmente 4883,76 kWh/ano, que resultou em 406,98 kWh/mês), o valor do investimento em R\$ (que foi informado pela fabricante Enersud, de R\$ 29.000,00) e o valor da tarifa obtida pela conta de energia da escola de janeiro/2021 em R\$/kWh (a tarifa utilizada foi para a classe comercial, que é de 0,70321 R\$/kWh), encontrou-se o valor do *payback* conforme a equação 5:

$$\text{Payback (meses): } \frac{37.700,00(\text{R\$})}{406,98 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{mês}}\right) \times 0,70321 \left(\frac{\text{R\$}}{\text{kWh}}\right)} = 131,73 \text{ meses}$$

Através deste cálculo percebemos que o *payback* é adquirido em dez anos e dez meses (10 anos e 10 meses). Nascimento et al. (2019) afirmam que essa não necessariamente é a única forma de encontrar o valor do mesmo e que existem diversos aspectos que podem interferir nos resultados finais, como a depreciação do aerogerador, a geração anual do sistema (kWh), o valor tarifário inicial e inflação energética.

Tabela 4: Levantamento de dados para o payback.

Componentes	Valores
Investimento inicial	29.000 R\$
Geração anual do sistema (kWh)	4883,76 kWh/mês
Valor tarifário inicial	0.70321 R\$

Também é possível analisar o *payback* levando em consideração o IPCA – Índice Nacional de Preços

ao Consumidor, que nos possibilita analisar com mais precisão esse retorno do investimento, de praxe o valor de instalação e logística é em média 30% do valor total do sistema do aerogerador. Foi calculado 30% de R\$ 29.000, que na tabela é representado como Valor de Serviços, além da Taxa IPCA, que segundo o IBGE foi de 4,52% para o ano de 2020, que também é adicionada ao custo inicial.

Tabela 5: Valor total do sistema com IPCA.

Dados	Valor (R\$)
Taxa (IPCA 2020 – 4,52%)	1,0452
Valor do Sistema	29000
Valor de Serviços (30%)	8700
Custo Inicial	37.700

Na tabela 7, visualizamos o ano em que o investimento se paga, a viabilidade econômica do sistema, e pode ser visualizada a rentabilidade por ano, a qual comprovou-se que em 10 anos o investimento já tem fluxo de caixa positivo, conforme apresenta a Figura 5 com a representação desse fluxo.

Tabela 6: Desempenho do sistema eólico.

Ano	Geração Anual (kWh)	Projeção preço anual kWh (R\$)	Economia (R\$)	Fluxo de Caixa (R\$)
0	0	0	0	-37700
1	4883,76	0,70321	3434,31	-34265,69
2	4883,76	0,734995092	3589,54	-30676,15
3	4883,76	0,76821687	3751,79	-26924,36
4	4883,76	0,802940273	3921,37	-23003,00
5	4883,76	0,839233173	4098,61	-18904,38
6	4883,76	0,877166512	4283,87	-14620,51
7	4883,76	0,916814439	4477,50	-10143,01
8	4883,76	0,958254451	4679,88	-5463,13
9	4883,76	1,001567553	4891,42	-571,71
10	4883,76	1,046838406	5112,51	4540,80
11	4883,76	1,094155502	5343,59	9884,39
12	4883,76	1,143611331	5585,12	15469,51
13	4883,76	1,195302563	5837,57	21307,08
14	4883,76	1,249330239	6101,43	27408,51
15	4883,76	1,305799965	6377,21	33785,73
16	4883,76	1,364822124	6665,46	40451,19
17	4883,76	1,426512084	6966,74	47417,93
18	4883,76	1,49099043	7281,64	54699,57
19	4883,76	1,558383197	7610,77	62310,34
20	4883,76	1,628822118	7954,78	70265,12

Na figura 4 é demonstrado o fluxo da tabela anterior em forma de gráfico.

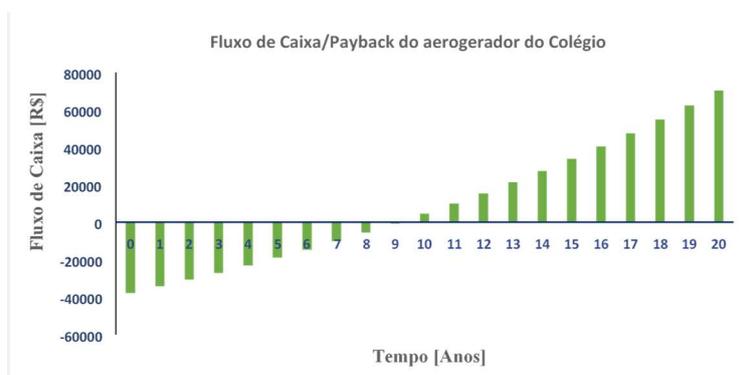


Figura 4: Fluxo de caixa.

Para o cálculo de emissão e evitação de carbono, utilizou-se nesse caso, o fator emissão de CO₂ para

energia hidroelétrica e para a energia a diesel. Para o estudo e cálculo do volume de CO_2 , produzido pelo projeto em questão, foi utilizado o valor de 0,0817 (kg CO_2 /kWh) de acordo com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (citado por, OLIVEIRA et al., 2017) para o fator emissão por hidroelétrica, e para o cálculo do fator de emissão do diesel 0,695 (kg CO_2 /kWh) que é um valor extraído analiticamente.

Para calcular a quantidade de carbono emitida é necessário fazer o seguinte cálculo:

$$CO_2 \text{ produzido} = \text{fator de emissão de } CO_2 * \text{eletricidade produzida} \quad (6)$$

Onde: CO_2 em kg, fator de emissão em kg/kWh e eletricidade produzida em kWh.

Onde:

Fator de emissão de CO_2 para hidroelétrica = 0,0817 kg/kWh.

Fator de emissão de CO_2 para o diesel = 0,695 kg/kWh.

Sendo que

$CO_2 EE = CO_2 \text{ produzido para energia hidroelétrica}$ e $CO_2 Diesel = CO_2 \text{ produzido para energia a diesel}$

Logo, utilizando a equação 6 com os respectivos fatores de emissão, obteve-se para energia hidroelétrica:

$$CO_2 EE = 0,0817 * 4883,76 = 399,003 \text{ kg.}$$

A emissão de carbono seria de aproximadamente 399,003 kg de CO_2 .

Já para a energia a diesel, pode-se calcular, ainda com a equação 6:

$$CO_2 Diesel = 0,695 * 4883,76 = 3.394,213 \text{ kg.}$$

Nesse caso, a emissão de carbono seria de 3.394,213 toneladas de CO_2 . Pode-se calcular, a partir da equação 6 também a emissão de carbono para cada trimestre, utilizando as eletricidades produzidas e os fatores de emissão para cada fonte:

DEZ - FEV calculado pela equação 6:

$$CO_2 EE = 0,0817 * 1185,84 \text{ kWh} = 96,883129 \text{ kg.}$$

$$CO_2 Diesel = 0,695 * 1185,84 \text{ kWh} = 824,1588 \text{ kg.}$$

MAR - MAI calculado pela equação 6:

$$CO_2 EE = 0,0817 * 827,28 \text{ kWh} = 67,588776 \text{ kg.}$$

$$CO_2 Diesel = 0,695 * 827,28 \text{ kWh} = 574,9596 \text{ kg.}$$

JUN - AGO calculado pela equação 6:

$$CO_2 EE = 0,0817 * 1181,52 \text{ kWh} = 96,530184 \text{ kg.}$$

$$CO_2 Diesel = 0,695 * 1181,82 \text{ kWh} = 821,3649 \text{ kg.}$$

SET - NOV calculado pela equação 6:

$$CO_2 EE = 0,0817 * 1689,12 \text{ kWh} = 138,001104 \text{ kg.}$$

$$CO_2 Diesel = 0,695 * 1689,12 \text{ kWh} = 1.173,9384 \text{ kg.}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Obteve-se a quantidade por trimestre evitada em emissões de carbono, ou seja, toda a quantidade que deixou de ser emitida por se utilizar energia eólica.

Quando uma turbina eólica gera eletricidade, ela produz zero emissões de carbono, logo, são evitadas 399,003 kg de CO_2 quando comparada a emissões por geração hidroelétrica e 3.394,213 kg quando comparada a emissões por geração a diesel, portanto a quantidade que seria produzida por essas respectivas fontes.

Após a análise trimestral de geração de energia com base nos dados da CRESESB foram identificados

os trimestres com maior e menor produção de energia, setembro-novembro e março-maio, respectivamente, conforme apresenta a Figura 5, que corrobora a afirmação de que nesses mesmos meses, foram obtidas as maiores e menores médias de vento, de acordo com a CRESESB, como representado na tabela 2. Logo, os trimestres com maiores velocidades de vento também foram os trimestres com maior produção de energia, representado no gráfico da figura 5.

As Figuras 6 e 7 apresentam os meses com maiores e menores evitações de carbono, por diesel e hidroelétricas, fatores de grande importância devido as mudanças climáticas já serem notáveis.

A média mensal consumida é de 3037,76 kWh/mês, segundo a Equatorial Pará, em consulta a conta de luz, o consumo anual médio da escola é de 36.353,11 kWh (valor que pode ser encontrado somando ponta e fora ponta, em consulta ao anexo A e também multiplicando o consumo anual médio da escola por 12). O aerogerador gera 4.885,96 kWh/ano, capaz de suprir 13,44% da demanda, logo, 8 aerogeradores (que gerariam 39.087,68 kWh por ano), seriam capazes de suprir toda demanda do colégio. Destaca-se também, o fato de poder mostrar na prática para os alunos do colégio os benefícios da energia eólica.

Utilizar energias renováveis e que diminuam as emissões de carbono tem se tornado cada vez mais importante, e a energia eólica é uma grande aliada nesse processo. A questão energética é um dos tópicos de grande importância na atualidade. Martins et al. (2008) enfatizam que a qualidade de vida de uma sociedade está intimamente ligada ao consumo de energia da mesma, e que o crescimento da demanda energética mundial se faz em razão da melhoria dos padrões de vida em países em desenvolvimento.

Ao voltar a investir em fontes renováveis teria retorno econômico a longo prazo, e social e ambiental imediatos, agregando valor a escola que por utilizar uma fonte renovável de energia teria uma visibilidade positiva perante a sociedade.

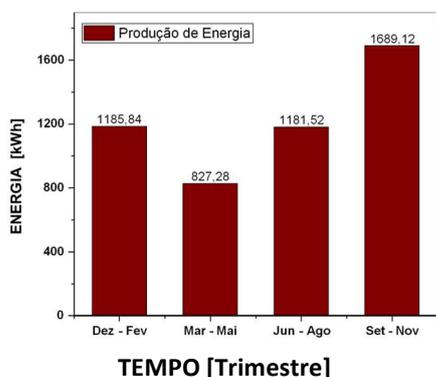


Figura 5: Produção de energia por trimestre.

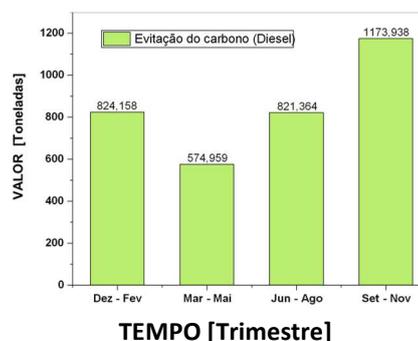


Figura 6: Evitação de carbono (diesel).

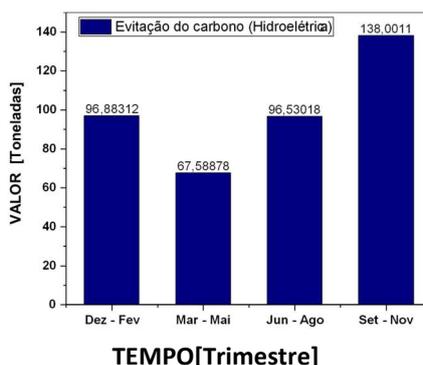


Figura 7: Evitação de carbono (hidroelétrica).

CONCLUSÕES

Este trabalho versou sobre o estudo de produção de energia eólica na Academia Bordoni de Referência Educacional. O aerogerador não se encontra atualmente em funcionamento, o que implica que o retorno de investimento e os benefícios sociais e ambientais não foram amplamente utilizados. Os resultados se mostram satisfatórios para compreender os impactos da instalação do aerogerador e sua possível religação no futuro.

O ganho ambiental causado pelo uso de fontes como a solar e a eólica já é bem conhecido. O aspecto menos comentado são as externalidades sociais positivas, que seriam para os alunos e funcionários, ao ver a utilização de uma energia limpa e divulgarem os benefícios da mesma.

A metodologia usada se mostrou robusta para a aquisição dos resultados. Os resultados se apresentaram satisfatórios para compreender os impactos da instalação do aerogerador, em especial os sociais, ambientais e econômicos. Sociais, pois os alunos veriam na prática os benefícios da energia eólica e o funcionamento do aerogerador; ambientais, pois a quantidade de carbono emitida que seria evitada anualmente seria satisfatória; além dos benefícios econômicos na fatura.

O aerogerador foi instalado no ano de 2016, e caso estivesse em funcionamento, teria seu *payback* em 10 anos, como observado na Tabela 4.4 e também na aplicação da Equação 6, respectivamente.

REFERÊNCIAS

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2002.

CELPA. **Relacionamento Operacional Geração Distribuidora**. Castanhal: CELPA, 2016.

CRESESB. **Centro de Referência para as energias Solar e Eólica de S. Brito**. Rio de Janeiro: CRESESB, 2014.

ENERSUD. **Turbina eólica verne**. Rio de Janeiro: ENERSUD, 2010.

FONSECA, B. S.; RAMALHO, H. F.. **Estudo de caso: análise da viabilidade da implantação de um micro aerogerador no campus Ecoville da UTFPR Curitiba**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

KÖPPEN, W.. **Climatologia con un estudio de los climas de la tierra**. Cidade del Mexico: FCE, 1948.

LEISMANN, E. L.; ROESLER, D. A.. Investimentos governamentais e tempo de retorno. **Ciências Sociais Aplicadas em Revista**, v.9, n.16, p.75-85, 2009.

MACHADO, C.. **Estudo de sistemas fotovoltaicos de pequeno porte**. Monografia (Bacharelado em Engenharia elétrica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

MACHADO, R. R.; ALMEIDA, J. A.. Cálculo da energia anual, potencial eólico e FC (fator de capacidade) com o software WindPRO. In: SEMINÁRIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEÂNICA. **Anais**. 2008.

MARTINS, A. C. S.; LUZ, M. S. F. C.. **Cenário climatológico atuante no Litoral Norte da Amazônia Brasileira**. Monografia (Especialização) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2004.

MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; PEREIRA, E. B.. O aproveitamento da energia eólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.30, n.1, p.1304.1-1304.13, 2008. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1806-11172008000100005>

MARTORANO, L. G.; PEREIRA, L. C.. Estudos climáticos do estado do para, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thorntwaite, Mather). **Boletim de Geografia Torética**, Rio de Janeiro, v.23, p.306-312, 1993.

NASCIMENTO, E. R.; SILVA, E. C.. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico e viabilidade econômica para atender a demanda do laboratório de energia e meio ambiente da ufra/Capanema**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Capanema, 2019.

OGATA, K.. **Engenharia de controle moderno**. 5 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

OLIVEIRA, L. A. N.; SOUZA, M. R.; FILHO, M. L. P. M.; CASTRO, R. S.; NAZARETH, T. B.. Potencial de redução de CO₂ pelo uso de energia elétrica em motobombas utilizadas no processo de irrigação no município de Dona Euzébia - MG: um estudo comparativo das matrizes hidrelétricas e fotovoltaicas. In: SIENPRO, 1. **Anais**. Goiânia: UFG, 2017.

RANIERI, L. A.; MAÂMAR, E. R.. Evolução da linha de costa de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. **Pesquisas em**

Geociências, v.42, n.3, p.207-226, 2015. DOI:

<http://doi.org/10.22456/1807-9806.78121>

SILVA, R. A. J.. **Microgeração na rede de BT**: limites técnicos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores) - Universidade do Porto, Porto, 2009.

SIMAS, M.; PACCA, S.. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. **Estudos Avançados**, São

Paulo, v.27, n.77, p.99-116, 2013. DOI:

<http://doi.org/10.1590/S0103-40142013000100008>

SOLAR, W.. **Tempo de retorno de investimento em energia solar**. Goiânia: WA Solar, 2016.

WWEA. World wind energy association. **Small wind world report**. Bonn: Wwea, 2014.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.