

Análise da viabilidade técnica do aerogerador sem pás: Um estudo de caso no instituto federal da Bahia – Campus Jequié.

Gustavo Lima da Silva¹, Thailane Carmo Silva², Márcio Andrade Rocha³.

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA) – Campus Jequié, Brasil. Email: gustavolimadasilva.eng@gmail.com

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA) – Campus Jequié, Brasil. Email: thailane.th@gmail.com

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA) – Campus Jequié, Brasil. Email: rochandrademarcio@hotmail.com

Resumo

Com o aumento da demanda energética, a energia eólica surge como alternativa para complementar a matriz energética. As turbinas convencionais têm pás, gerando eletricidade em ventos mais fortes e alturas maiores. A turbina sem pás, Vórtex Tacoma, usa ventos de baixa velocidade e possui estrutura compacta, adequada para áreas urbanas. Este estudo analisa a viabilidade técnica da Vórtex Tacoma no Instituto Federal da Bahia – Campus Jequié. A metodologia inclui pesquisa de dados, análise de altimetria do campus, simulações no Ansys Fluent e avaliação técnica. Resultados mostram que a altimetria e a velocidade do vento no campus são adequadas para a operação da turbina. A Vórtex Tacoma foi escolhida pela comparação com outras turbinas, destacando-se em custo, manutenção, tamanho e potência. Simulações e dados indicam o arranjo ideal para a instalação e maior eficiência com múltiplas unidades próximas, sugerindo viabilidade técnica e contribuição para a sustentabilidade do instituto e da região.

Palavras-chave: Energia; Sustentabilidade; Vortex.

Abstract

With increasing energy demand, wind power emerges as an alternative to complement the energy matrix. Conventional turbines have blades, generating electricity at higher wind speeds and greater heights. The bladeless turbine, Vortex Tacoma, uses low-speed winds and has a compact structure suitable for urban areas. This study analyzes the technical feasibility of Vortex Tacoma at the Federal Institute of Bahia – Jequié Campus. The methodology includes data research, campus altimetry analysis, Ansys Fluent simulations, and technical evaluation. Results show that the campus's altimetry and wind speed are adequate for turbine operation. Vortex Tacoma was chosen by comparing it with other turbines, excelling in cost, maintenance, size, and power. Simulations and data indicate the ideal arrangement for installation and increased efficiency with multiple nearby units, suggesting technical feasibility and contribution to the sustainability of the institute and region.

Keywords: Energy; Sustainability; Vortex.

1. Introdução

O desenvolvimento tecnológico, as questões de sustentabilidade e o impacto ambiental das fontes de energia não renováveis impulsionam o uso de energia limpa no Brasil. O uso excessivo de recursos geradores de energia elétrica tradicionais tornou-se escasso e suas consequências causam danos ambientais significativos, como o efeito estufa e a diminuição dos combustíveis fósseis. Devido a isso, as energias renováveis, além de serem inesgotáveis, ganharam força nos últimos anos

por causarem menos danos ao meio ambiente (Santos & Araujo, 2023). No Brasil, a geração eólica começou tardiamente, com a primeira turbina de grande porte instalada em 1992 no arquipélago de Fernando de Noronha, Pernambuco. A turbina, com uma torre de 23 metros, um gerador assíncrono de 75 kW e pás de 17 metros de diâmetro, gerava cerca de 10% da energia de Fernando de Noronha, economizando setenta mil litros de óleo diesel por ano (Aneel, 2016). O aerogerador sem pás é uma nova tecnologia que utiliza a vibração induzida por vórtices (VIV) para gerar energia eólica.

Diferente dos aerogeradores convencionais com pás, essa estrutura consiste em uma base e uma haste de fixação. A energia é gerada quando o vento cria vórtices ao redor da estrutura, fazendo-a oscilar e entrar em ressonância. Essa tecnologia é adequada para locais com ventos de baixa velocidade, como áreas urbanas, onde aerogeradores tradicionais têm desempenho limitado. O aerogerador sem pás pode aumentar a geração de energia eólica em regiões urbanas, complementando a energia solar fotovoltaica e contribuindo para a geração distribuída. Devido à relevância crescente do tema, este estudo propõe analisar a viabilidade do aerogerador sem pás no Instituto Federal da Bahia - Campus Jequié, visando apoiar o ensino das técnicas de geração de energia eólica.

2. Metodologia

A metodologia deste estudo permite, inicialmente, a identificação e análise de estudos sobre a "Avaliação da viabilidade técnica do aerogerador sem pás". Em seguida, realiza-se a coleta de dados do campus através de um processo estruturado figura 1, que inclui pesquisa em bases de dados relevantes, altimetria, análise do ambiente escolhido e simulação no Ansys Fluent para explorar o desprendimento de vórtices e avaliar a viabilidade técnica e eficiência dos sistemas.



Figura 1. Fluxograma da estrutura metodológica. Fonte: Elaboração própria, 2024.

O estudo bibliográfico é essencial para fundamentar projetos, oferecendo contexto e validação por meio da comparação de resultados. Ao explorar pesquisas passadas, construiu-se uma base teórica que fortalece a credibilidade ao dialogar com o conhecimento existente. Segundo Gil (2008), "As pesquisas exploratórias têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, visando à formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores." Isso geralmente envolve levantamento bibliográfico e documental, entrevistas não padronizadas e estudos de caso. Refletir as conclusões com pesquisas anteriores reforça a consistência e confere autenticidade às

descobertas, consolidando-as como contribuições significativas.

Para a análise de viabilidade técnica de um aerogerador, é necessário examinar diversas variáveis, como a altura da torre, a potência do aerogerador, o local de instalação e a monitorização das velocidades do vento com anemômetros. Este projeto foca em um tipo específico de aerogerador e um estudo de caso particular.

Os critérios de exclusão incluem: terminologia para seleção de artigos, modelos de aerogeradores pequenos com potência de até 250 kW, e o uso do conceito de vorticidade e simulações por Vibrações Induzidas por Vórtices (VIV) com software CFD. O estudo exige um período mínimo de análise da velocidade dos ventos e a localização precisa das medições.

Para uma seleção mais precisa de artigos, consideramos a abordagem dos temas, a disponibilidade integral dos artigos online e o uso de palavras-chave específicas. No estudo de caso, focamos no limite temporal da investigação e na disponibilidade de dados sobre a velocidade dos ventos de Jequié, fornecidos pelo CPTEC.

Além disso, a altimetria do local pode afetar a eficiência do aerogerador, e a localização deve ser livre de obstáculos que obstruam o fluxo de vento. A velocidade média diária dos ventos em Jequié é crucial para determinar a energia gerada. Também é essencial verificar se a estrutura suporta o peso e as forças do aerogerador, garantindo a segurança e durabilidade do sistema.

3. Resultados

A eficácia da microturbina eólica é influenciada por variáveis como a velocidade do vento e a qualidade da própria turbina. Por essa razão, é importante avaliar a velocidade média do vento no local antes de instalar a turbina. Isso pode ser feito por meio de um anemômetro ou pela obtenção de dados da estação meteorológica mais próxima, a fim de prever o seu potencial de geração de energia.

Foram examinados três modelos de aerogeradores (Figura 2): o modelo horizontal ZM IN-Vento 3kW, o vertical UGE-4K e o de vorticidade Vortex Tacoma. O estudo foi conduzido no ambiente do IFBA - Campus Jequié, visando comparar e analisar qual desses tipos de aerogerador é mais adequado para a geração de energia elétrica na instituição.

Para analisar os padrões de vento em Jequié, foram utilizados dados do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), o centro mais avançado da América Latina em previsão numérica de tempo e clima, com alta precisão desde 1995. A avaliação do potencial eólico exige coleta e análise detalhada da velocidade e comportamento dos ventos.

Os dados foram coletados durante dois meses em 2024, a média das velocidades dos ventos encontradas pelo CPTEC, entre as datas 23/03/2024 a 23/05/2024 é de

3,4 m/s. O projeto de pesquisa, Vortex, estabeleceu um limite máximo de velocidade do vento para a geração de energia elétrica entre 11 m/s e 12 m/s. Portanto, os aerogeradores examinados devem estar em conformidade com essa faixa de velocidade do vento para uma análise mais precisa.



Figura 2. Exemplos de modelos de turbinas eólicas. Fonte: In-Vento, 2015; Lawrence, 2015; Vortex Bladeless, 2018.

Cada variante de aerogerador possui características distintas, o que influencia diretamente em sua aplicação e viabilidade. Os aerogeradores de eixo vertical e horizontal são comumente posicionados em áreas afastadas dos centros urbanos, devido à necessidade de ventos mais intensos e ao porte dos equipamentos, os quais demandam espaços amplos para instalação e disposição. A análise comparativa dos diferentes tipos de aerogeradores abordados neste estudo, em relação a fatores específicos, está detalhada na tabela 1.

Tabela 1. A (a) Fatores e os (b,c,d) Aerogeradores.

Fatores	Vortex	Eixo Vertical	Eixo Horizontal
Perfil da pá	--	Complicado	Complicado
Mecanismo de direção	Não	Não	Sim
Possibilidade de mecanismo de passo	Sim	Não	Sim
Torre	Sim	Não	Sim
Cabos de sustentação	Opcionais	Sim	Não
Ruído	Baixo	Moderado	Alto
Área da pá	--	Grande	Pequena
Carga da pá	--	Baixa	Alta
Auto inicialização	Não	Não	Sim
Fundação	Não	Simples	Extensa
Estrutura global	Simples	Simples	Complicada

Fonte: Figueiredo (2020).

As turbinas de eixo horizontal (HAWT) requerem ajustes de orientação para alinhamento com a direção do vento, o que demanda tempo e, por vezes, consumo adicional de energia. Sua capacidade de adaptação às variações do vento é considerada mais lenta em comparação com as turbinas Vortex e as turbinas de

eixo vertical (VAWT), que dispensam mecanismos de direcionamento.

Os aerogeradores baseados em vorticidade possuem um design completamente circular e mantêm uma orientação constante em relação ao vento. Isso é particularmente relevante em ambientes urbanos com condições de vento turbulentas. Além disso, esses aerogeradores têm a capacidade de iniciar e parar de forma autônoma, sem intervenção humana.

Em relação aos sistemas de sustentação, o uso de cabos no aerogerador Vortex é opcional, ao passo que é obrigatório na turbina de eixo vertical. O tubo do aerogerador é suportado por cabos de aço e mancais para mantê-lo na posição vertical. Esses cabos são conectados à parte superior do tubo, estendendo-se até o solo, onde são fixados por meio de conexões de aço a uma fundação.

As estruturas das diferentes tipologias de aerogeradores variam significativamente. O aerogerador horizontal é composto por pás, eixo e gerador posicionados no topo da estrutura. Por outro lado, o aerogerador de eixo vertical apresenta as mesmas partes mecânicas, porém situadas mais próximas ao solo. Já o aerogerador por vorticidade conta com uma base, estator e haste também localizados próximo ao solo.

Considerando essa disposição das partes mecânicas dos aerogeradores, aqueles com componentes mais próximos ao solo tendem a exigir menores despesas com manutenção. Isso se deve ao fato de que a substituição e manutenção de peças podem ser realizadas sem a necessidade de grandes equipamentos de segurança.

De acordo a **Vortex (2018)** quando as turbinas são capazes de trabalhar com eficiência em velocidades de vento menores, o tempo de operação tende a aumentar. Com o objetivo de comparar a eficiência de cada tecnologia para as faixas de velocidade do vento mais comuns em áreas urbanas, a figura 2 representa a estimativa da produção útil de cada tipologia de turbinas dividida por sua produção nominal fornecida.

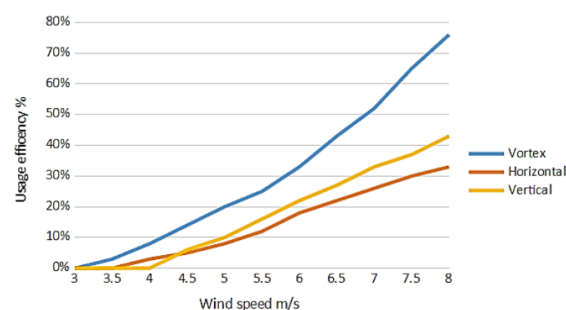


Figura 3. Curva de potência dos aerogeradores. Fonte: Gonzáles (2019).

De acordo a **Vortex (2018)** percentual de utilização de cada tecnologia não é diretamente proporcional à sua potência nominal, normalmente as turbinas que atingem uma maior potência nominal costumam

apresentar uma pior curva de eficiência. Dessa forma, se uma turbina pode alcançar uma saída de potência máxima mais alta, ela terá um desempenho pior com ventos fracos.

A comparação entre o aerogerador Vortex e os modelos de eixo horizontal e vertical revela a superioridade da tecnologia por vorticidade em termos de eficiência a depender de sua aplicação. Essa vantagem deriva do fato de que o Vortex foi projetado para capturar energia ao nível do solo, onde as velocidades dos ventos normalmente variam entre 3 m/s e 8 m/s. Já as tecnologias de eixo horizontal e vertical foram fabricadas para operar em altitudes mais elevadas, onde as velocidades dos ventos são geralmente mais altas.

Ressalta-se, no entanto, que as turbinas Vortex Bladeless interrompem sua operação em velocidades do vento acima de aproximadamente 12 m/s, enquanto as turbinas eólicas convencionais permanecem em atividade sob tais condições. Diante disso, em locais com velocidades de vento mais elevadas, turbinas de eixo horizontal ou vertical podem apresentar um potencial de aproveitamento energético superior.

A instalação do aerogerador Vortex no ambiente não representa uma ameaça para as aves, devido à sua estrutura compacta e à ausência de pás, as quais ocupam vastas áreas onde as aves habitualmente vivem. A fabricação desse equipamento é realizada utilizando fibras de vidro e carbono, resultando em um processo de construção e desenvolvimento de baixo consumo energético, com produção rápida e direta, o que acarreta em um impacto mínimo.

O aerogerador por vorticidade apresenta uma estrutura compacta e dispensa o uso de pás, ocupando assim uma área menor para geração de energia. Seu arranjo permite a instalação de mais aerogeradores no mesmo espaço em comparação aos modelos de eixo vertical e horizontal. Além disso, a velocidade dos ventos necessária para alcançar a potência nominal do equipamento tende a ser menor no aerogerador por vorticidade, viabilizando a geração de energia com velocidades de vento consideradas comuns em ambientes urbanos.

O aerogerador Vortex Tacoma ainda não é comercializado e com isso é difícil realizar uma análise detalhada dos custos de fabricação e manutenção, pois não há experiência anterior com manutenção do aerogerador sem pás ou no impacto da produção em massa no custo. Ainda, os custos estão sujeitos a variação dependendo do modo de instalação, se é isolado, em conjunto ou com painéis fotovoltaicos (FIGUEIREDO, 2020).

De acordo com Javier García Gonzáles (2019), as partes constituintes referentes a custos de fabricação são: mastro, haste flexível, torre, suporte, oscilador, conversor AC/DC, estator e base. O custo da matéria prima corresponde a aproximadamente 120£ (Libras) e o custo estimado com produção em série do equipamento é de aproximadamente 360£ (Libras).

A vantagem significativa do aerogerador Vortex reside em seu baixo custo de operação e manutenção. O dimensionamento do equipamento é projetado de maneira a garantir que a fadiga dos materiais seja um fator limitante para sua vida útil. A manutenção deve se concentrar nos componentes expostos às condições climáticas adversas e na eletrônica. Na tabela 2, são apresentados os custos do equipamento, os custos totais, a produção estimada de energia anual e o tempo de funcionamento previsto do aerogerador Vortex Tacoma.

Tabela 2. A (a) Parâmetros e os (b) Aerogerador Vortex Tacoma.

Parâmetro	Aerogerador Vortex Tacoma
Custo do equipamento	360£ (Libras)
Custos Totais	0,92£ (Libras)
Produção estimada de energia por ano	350 kWh
Tempo de funcionamento	20 anos

Fonte: Adaptado de Gonzáles (2019).

O resultado da análise é apresentado na figura 4, a altimetria do IFBA - Campus Jequié a partir dos dados gerados pelo Google Earth e do Topographic-map.



Figura 4. Imagem do Instituto Federal da Bahia – Campus Jequié. Fonte: Elaboração própria (2024).

A altimetria é a medição de altitudes utilizando a representação dos resultados em planta topográfica. Os números de 1 a 8 representadas na tabela 3, demonstram as localidades do IFBA.

Tabela 3. A (a) número e (b) local, (c) altimetria.

Número	Local	Altimetria (m)
1	Guarita	224
2	Bloco B	225
3	Bloco A	225
4	Praça de alimentação	225
5	SRA (Bloco A)	225
6	Bloco C	229
7	Bloco D	225

8	Ginásio Poliesportivo	227
---	-----------------------	-----

Fonte: Elaboração própria (2024).

A escolha do local de instalação desempenha um papel crucial na avaliação da geração de energia. As variações nas velocidades do vento podem ser explicadas por diversos elementos, como a elevação, a topografia e as construções circundantes, que podem influenciar a direção do vento. Ao analisar os dados apresentados na tabela 3, observa-se que o ponto mais elevado no IFBA - Campus Jequié é o bloco c, identificado como ponto 6, seguido pelo ginásio poliesportivo, identificado como ponto 8. Portanto, o para local de instalação, dos dois pontos mais elevado no IFBA onde a velocidade do vento é maior, o bloco c se tornar mais relevante pela formação da estrutura do prédio.

A tabela 4 fornece uma comparação entre os aerogeradores de eixo horizontal, vertical e por vorticidade selecionados para o estudo de caso, incluindo os dados técnicos dos aerogeradores In-Vento, UGE - 4K e Vortex Tacoma, analisando aspectos como potência nominal, diâmetro do rotor, altura da torre e velocidade inicial.

Tabela 4. A (a) modelos, (b) potência, (c) diâmetro do rotor, (d) altura da torre, (e) velocidade inicial e (f) velocidade nominal.

Modelo	Potência (kW)	Diâmetro do rotor (m)	Altura da torre (m)	Velocidade inicial (m/s)	Velocidade nominal (m/s)
IN - VENTO	3	3,4	12	3	12,5
UGE - 4K	4	4,2	4,6	3	12
VORTEX TACOMA	1	0,261	2,75	3	12

Fonte: Adaptado Figueiredo (2020).

Ao analisar os dados da tabela 4, é evidente que o aerogerador Vortex Tacoma apresenta valores menores em comparação com os modelos In-Vento e UGE4K, tanto em termos de potência (kW), diâmetro do rotor (m) quanto altura da torre (m). No entanto, todos os modelos requerem uma velocidade mínima de partida de 3 m/s. Portanto, em ambientes onde o espaço para a instalação de um aerogerador com torre alta e rotor de maior diâmetro é limitado, o Vortex Tacoma se apresenta como a escolha indicada.

3.2. Simulação

Por meio da simulação é possível observar a figura 5 a formação de vórtices em uma haste circular, representando a configuração do aerogerador por vorticidade com um número de Reynolds entre 80 e 300. As perturbações que surgem após a estrutura são variações nas forças na direção lateral do fluxo, devido à alteração da pressão dinâmica, o que resulta em cargas dinâmicas e na oscilação da haste vibratória.

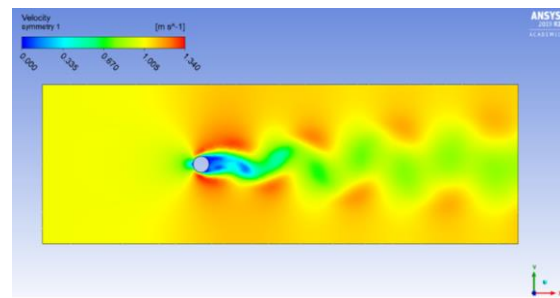


Figura 5. Resultado de simulação no software Ansys Fluent. Fonte: Elaboração própria (2024).

Por meio da simulação é possível observar a formação de vórtices em uma haste circular, representando a configuração do aerogerador por vorticidade com um número de Reynolds entre 80 e 300. As perturbações que surgem após a estrutura são variações nas forças na direção lateral do fluxo, devido à alteração da pressão dinâmica, o que resulta em cargas dinâmicas e na oscilação da haste vibratória. O desprendimento intermitente de vórtices é um fenômeno causado pelo movimento do fluido no equipamento, provocando instabilidades no fluxo na região após o cilindro. A interação entre fluido e estrutura envolve a combinação de princípios de diferentes áreas, especialmente da fluidodinâmica e da mecânica estrutural. Esse acoplamento considera o campo de pressão ou temperatura de uma análise CFD e os impactos diretos dessas cargas na análise estrutural.

O deslocamento das oscilações é impactado pelas diversas frequências do processo oscilatório, conhecido como efeito lock-in, resultante das Vibrações Induzidas por Vórtices (VIV). Este fenômeno amplifica o coeficiente de arrasto devido à criação de forças no fluxo. As VIVs são determinantes na vida útil por fadiga da estrutura, afetando a frequência natural da estrutura, que se aproxima da frequência das cargas geradas pela corrente. O deslocamento máximo ocorre durante a oscilação da haste ressonante.

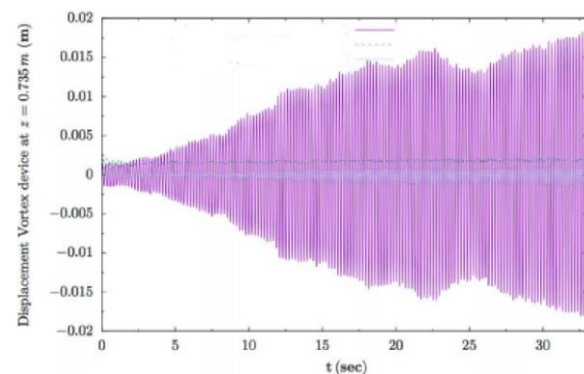


Figura 6. Deslocamento na oscilação do Vortex. Fonte: Elaboração própria (2024).

De acordo a [Figueiredo \(2020\)](#) a haste ressonante analisada na figura 6 possui 0,735 metros de altura e o

período da simulação foi de 34 segundos. Ao decorrer da oscilação da haste ocorre a amplificação do movimento com 0,02 metro para cada lado e frequência registrada de 4,8 Hz. Durante a oscilação da haste verifica-se que o equipamento está extraindo energia do fluido e demonstrando o efeito lock-in bem capturado na simulação fluido-estrutura.

Os vórtices interagem com a estrutura, gerando campos de pressão oscilantes. Essas forças podem induzir oscilações no corpo, excitando diferentes modos naturais, podendo resultar em fadiga e colapso estrutural. O arranjo dos aerogeradores Vortex deve ser cuidadosamente selecionado para maximizar a extração de energia do fluido, garantindo a integridade da estrutura.

O posicionamento pode variar, com foco em intensificar a turbulência do fluxo para aumentar a conversão de energia eólica em elétrica. A disposição adequada é ilustrada na figura 6 para a instalação do aerogerador.

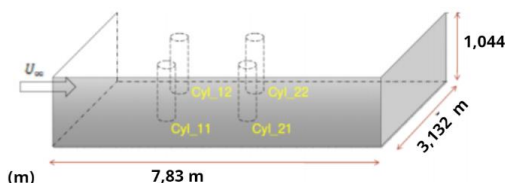


Figura 7. Arranjo para instalação do aerogerador Vortex. Fonte: Adaptado de Gonzáles (2019).

Para o determinado diâmetro máximo da estrutura do Vortex Tacoma, que possui um valor de 0,261 metros, investigamos o intervalo entre as turbinas eólicas. O objetivo foi detectar o desprendimento dos redemoinhos entre os cilindros 11, 12, 21 e 22 durante uma simulação, figura 8.

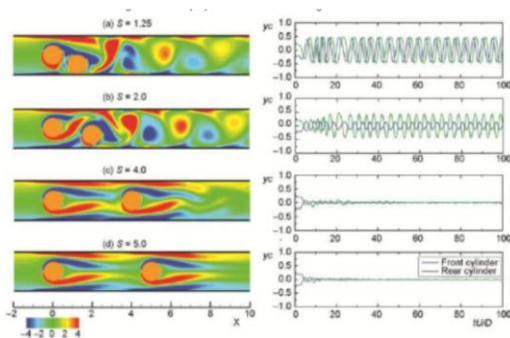


Figura 8. Espaço entre os aerogeradores Vortex. Fonte: Gonzáles (2019).

A análise do espaçamento foi conduzida por meio de simulação, utilizando um número de Reynolds de 100 para representar o regime de formação de redemoinhos. Na simulação (a), identificamos que a configuração que permite a maior amplitude é alcançada com uma taxa de separação de 1,25, correspondendo a uma distância entre os Vortex Tacoma de 0,29 metros. Assim sendo, a exploração do terreno revela-se como

um fator vantajoso para a instalação dos aerogeradores Vortex Tacoma, devido à possibilidade de instalar uma quantidade significativa de equipamentos próximos, impulsionada pelo efeito da esteira de desprendimento de redemoinhos.

Dessa forma, com base na figura 4 e na tabela 3, foram examinados os potenciais locais para instalação, como o edifício C e o pavilhão esportivo, os quais são as elevações mais proeminentes do local em estudo. Considerando que a implantação do conjunto (com quatro dispositivos) resulta em um aumento de potência para 4 kW e 14 quilogramas para cada aerogerador envolvido. O ambiente mais propício para a instalação de sua estrutura revelou-se o edifício C, com uma altura de 229 metros, devido à presença de um terraço de concreto que facilita a instalação da base, oferecendo uma estrutura estável e robusta para sustentar os aerogeradores sem pás. Por outro lado, o pavilhão esportivo, embora tenha sido considerado como opção, não pode suportar esse peso devido à sua estrutura que não permite novas construções acima.

A velocidade média diária dos ventos em Jequié - BA na gráfico da figura 9, analisados por um período de 2 meses, publicado no CPTEC, oscilou entre mínima de 0,4 m/s e máxima de 6,5 m/s. Desta forma, a partir dos resultados computados a velocidade média diária obtida de Jequié - Bahia, foi de 3,4 m/s possuindo assim valores positivos para a utilização dos aerogeradores.

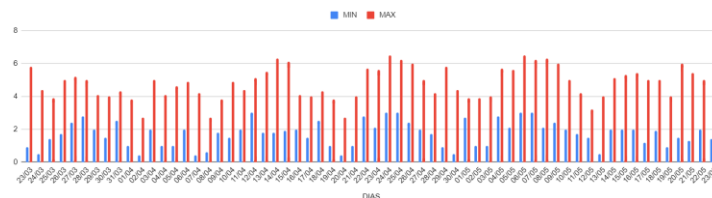


Figura 9. Velocidade diária dos ventos (m/s), Jequié - BA (23/03/2024 a 23/05/2024). Fonte: Elaboração própria (2024).

Para calcular a produção de energia elétrica do aerogerador Vortex Tacoma, utilizamos como referência o desempenho energético apresentado na figura 10.

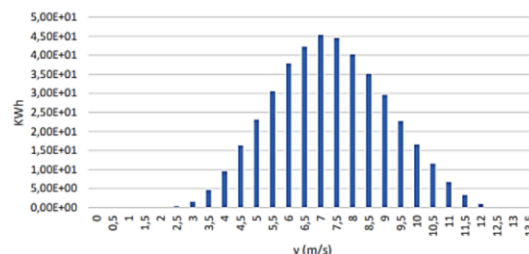


Figura 10. Geração de energia elétrica do aerogerador Vortex Tacoma. Fonte: Gonzáles (2019).

Esses modelos começam a produzir energia com a mesma velocidade inicial do vento, conforme indicado pelos fabricantes, que é de 3 metros por segundo, e

apresentam valores de velocidade nominal aproximados, em torno de 12 metros por segundo. No entanto, a principal vantagem do aerogerador por vorticidade é sua estrutura reduzida em comparação com outros modelos e a pequena distância de separação entre os equipamentos para sua instalação em um arranjo.

Os resultados foram obtidos por meio da instalação do aerogerador Vortex Tacoma, bem como pela coleta e análise dos dados. Observa-se que uma quantidade limitada de energia foi gerada com ventos abaixo de 3 metros por segundo, que é considerada a velocidade mínima para o funcionamento do equipamento. Isso representa uma vantagem em comparação com os aerogeradores In-Vento e UGE-4K.

4. Conclusões

As propriedades dos ventos variam dependendo do contexto ambiental. Em Jequié - BA, os ventos são influenciados por elementos urbanos, como vegetação, edificações e topografia, afetando a velocidade do vento. O estudo de caso realizado no Instituto Federal da Bahia - Campus Jequié analisou a viabilidade técnica de três modelos de geradores de energia: o In-Vento (eixo horizontal), o UGE-4K (eixo vertical) e o Vortex Tacoma (vorticidade). Após a análise dos geradores de energia, foram comparadas particularidades de cada equipamento, como potência, altura da torre, diâmetro do rotor, velocidade inicial e velocidade nominal, além de outros parâmetros como, localidade e velocidade média dos ventos da região. Os três modelos de geradores de energia comparados operam com uma velocidade inicial dos ventos de 3 m/s e uma velocidade nominal de aproximadamente 12 m/s. A principal diferença é que o gerador de energia Vortex Tacoma possui uma potência e dimensões reduzidas em comparação com os modelos In-Vento e UGE-4K. O gerador de energia por vorticidade tem uma potência de 1 kW e um diâmetro de 0,261 metros, enquanto o In-Vento tem uma potência de 3 kW e um diâmetro do rotor de 3,4 metros, e o UGE-4K tem uma potência de 4 kW e um diâmetro do rotor de 4,2 metros. O arranjo para a instalação do gerador de energia Vortex Tacoma foi analisado com base na simulação do desprendimento de redemoinhos de von Kármán em diferentes distâncias entre dois equipamentos. A simulação mostrou que distâncias menores entre os geradores aumentam a formação de redemoinhos, essencial para a geração de energia elétrica, resultando em maior produção de energia. Esse estudo pode ser replicado para outros tamanhos e diâmetros de geradores Vortex Tacoma de forma comparativa.

Além disso, contribuiu-se com a análise da implementação e do local de instalação do gerador de energia Vortex Tacoma. As simulações em softwares confirmaram o funcionamento do gerador por vorticidade e a amplificação do movimento da haste ressonante com baixas velocidades de vento. Com uma

velocidade média diária de 3,4 m/s, o local (bloco c) é adequado para instalação do arranjo. Para obter dados mais precisos, recomenda-se aumentar o período de captação de velocidades para 12 meses, permitindo a análise dos melhores e piores meses. Além disso, é aconselhável utilizar um anemômetro no local de instalação para melhorar a precisão das medições. A análise estrutural do local de instalação dos geradores de energia Vortex Tacoma inclui o dimensionamento da estrutura e uma análise de cargas para garantir um funcionamento otimizado e maior produtividade na geração de energia elétrica. Pesquisas futuras podem explorar a otimização da distância entre os geradores, bem como diferentes materiais e designs para a haste ressonante, visando maximizar a eficiência e a durabilidade dos sistemas de geração de energia.

5. Referências

- [1] Aneel. Cadernos Temáticos. Micro e Minigeração Distribuída. Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Brasília, DF, Brasil, 2016. *Centro de Documentação – CEDOC*. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br>.
- [2] Figueiredo, Mariana Meneguetti. Análise da viabilidade técnica do aerogerador sem pás: um estudo de caso na Universidade Positivo, 2020. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Positivo, Curitiba, Brasil. Disponível em: <https://repositorio.cruzeirodosul.edu.br/jspui/handle/123456789/3218>.
- [3] Gil, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social, 2008. 6 ed. *Editora Atlas SA*. Disponível em: https://feata.edu.br/downloads/revistas/economiaepesquisa/v3_artigo01_globalizacao.pdf.
- [4] G. González, Javier. Simulación del aprovechamiento del recurso eólico urbano com tecnología Vortex Bladeless, 2019. *Trabajo del Conclusión del Curso*. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10016/29997>.
- [5] Santos, Priscilla Emanuele de Lucena; Araújo, Francisco José Costa. O desenvolvimento da energia eólica no Brasil: Uma revisão bibliográfica. *Revista Ibero-Americana de Humanidade, Ciências e Educação*. [S. l.], v. 9, n. 6, p. 2978–2989, 2023. DOI: 10.51891/rease.v9i6.10487. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/10487>.
- [6] Vortex, Bladeless. Fundamentos da ideia versão inicial, 2018. Disponível em: https://oics.cgee.org.br/estudos/-/estudo-de-caso/article/aerogerador-vortex-bladeless_5d5edf06e9d9cd0a5a46361f.