

## **Análise da eficiência energética de turbinas eólicas de pequeno porte em edificações no litoral de Ilhéus-BA.**

Analysis of the energy efficiency of small scale wind turbines in buildings on the coast of Ilhéus-BA.

Marco Antonio Souza Sobral<sup>1</sup>  
Marcelo O'Donnell Krause<sup>2</sup>  
Felipe José Estrela Marinho<sup>3</sup>  
Ittana de Oliveira Lins<sup>4</sup>

### **RESUMO**

O presente trabalho analisa a viabilidade técnica e o potencial de geração de energia eólica por meio de turbinas de pequeno porte instaladas em edificações no litoral de Ilhéus, Bahia. A pesquisa fundamenta-se na crescente necessidade de diversificação da matriz energética brasileira e no aproveitamento de recursos renováveis em ambientes urbanos, contexto intensificado pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 e suas atualizações, que regulamentam a microgeração distribuída no país. Para fundamentar o estudo, foram utilizados dados meteorológicos históricos coletados na estação sinótica do Aeroporto Jorge Amado (SBIL – ICAO), série histórica de 2010 a 2024, que serve como referência conservadora para o perfil de ventos da região litorânea do município. A metodologia combinou pesquisa bibliográfica exploratória com análise quantitativa da velocidade e direção do vento, processamento estatístico mediante Distribuição de Weibull e simulação do rendimento energético a partir de curvas de potência de turbinas comerciais de eixo vertical (VAWT). Os resultados indicam que a velocidade média

<sup>1</sup> Marco-antonio-sobral@hotmail.com

<sup>2</sup> Krausefisico@gmail.com

<sup>3</sup> felipe.marinho@faculdadedeilheus.com.br

<sup>4</sup> professoraittanalins@gmail.com

anual em Ilhéus ( $\approx 3,1$  m/s a 10 m de altura) está próxima ao limite inferior de operação da maioria dos equipamentos comerciais; entretanto, a correção logarítmica de perfil vertical demonstra que, em edificações de 10 a 15 pavimentos (30–45 m), a velocidade estimada atinge 4,0–4,6 m/s, viabilizando geração complementar expressiva. A constância dos ventos de quadrante Nordeste e Leste, oriundos dos Alísios do Atlântico Sul, favorece a aplicação de turbinas omnidirecionais. Conclui-se que a viabilidade técnica existe, condicionada à altura de instalação  $\geq 20$  m, à escolha de turbinas com velocidade de partida  $\leq 2,5$  m/s e a projetos estruturais que contemplem amortecimento de vibrações e proteção anticorrosiva marinha. Recomenda-se como estudo sequencial a avaliação da viabilidade econômica e a integração híbrida eólica-fotovoltaica para otimização das coberturas das edificações costeiras.

**Palavras-chave:** Energia Eólica. Microgeração Distribuída. Aeroporto Jorge Amado. Turbinas de Eixo Vertical. Engenharia Civil. Sustentabilidade. Ilhéus – BA.

## **ABSTRACT**

This study analyzes the technical feasibility and the potential for wind energy generation using small-scale turbines installed in buildings along the coast of Ilhéus, Bahia. The research is based on the growing need to diversify Brazil's energy matrix and to harness renewable resources in urban environments, a context strengthened by ANEEL Normative Resolution No. 482/2012 and its updates, which regulate distributed microgeneration in the country. To support the study, historical meteorological data were used, collected from the Jorge Amado Airport synoptic station (SBIL – ICAO), covering the period from 2010 to 2024, serving as a conservative reference for the wind profile of the municipality's coastal region. The methodology combined exploratory bibliographic research with quantitative analysis of wind speed and direction, statistical processing using the Weibull Distribution, and simulation of energy output based on power curves of commercial vertical axis wind turbines (VAWT). The results indicate that the annual average wind speed in Ilhéus ( $\approx 3.1$  m/s at 10 m height) is close to the lower operational limit of most commercial equipment; however, logarithmic correction of the vertical profile shows that, in buildings with 10 to 15 floors (30–45 m), the estimated speed reaches 4.0–4.6 m/s, enabling significant complementary generation. The consistency of winds from the

Northeast and East quadrants, originating from the South Atlantic trade winds, favors the use of omnidirectional turbines. It is concluded that technical feasibility exists, provided that the installation height is  $\geq 20$  m, turbines with cut-in speeds  $\leq 2.5$  m/s are selected, and structural designs include vibration damping and marine anti-corrosion protection. As a follow-up study, it is recommended to evaluate economic feasibility and hybrid wind–photovoltaic integration to optimize the rooftops of coastal buildings.

**Keywords:** Wind Energy. Distributed Microgeneration. Jorge Amado Airport. Vertical Axis Wind Turbines. Civil Engineering. Sustainability. Ilhéus – BA.

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento da demanda por energia é um dos principais desafios enfrentados pelas sociedades contemporâneas. Desde a Primeira Revolução Industrial, no século XVIII, o desenvolvimento tecnológico e a expansão urbana passaram a depender intensamente da disponibilidade de energia. Inicialmente baseada no carvão mineral e posteriormente ampliada para o petróleo, gás natural e fontes nucleares, a matriz energética mundial continua em constante transformação, impulsionada pela necessidade simultânea de atender à crescente demanda e de reduzir os impactos ambientais associados à geração de energia convencional **(ANEEL, 2023)**.

No Brasil, essa transformação é intensificada pelas peculiaridades da matriz elétrica nacional, historicamente calcada na geração hidrelétrica. Segundo o Balanço Energético Nacional **(BEN, 2023)**, as usinas hidrelétricas respondem por aproximadamente 63% da capacidade instalada de geração elétrica do país. Entretanto, episódios recorrentes de crise hídrica — como os registrados em 2001, 2014–2015 e 2021 — evidenciam a vulnerabilidade desse modelo diante das mudanças climáticas globais e da variabilidade hidrológica regional **(EPE, 2023)**.

Diante desse cenário, a diversificação da matriz por meio de fontes renováveis não hídricas assume papel estratégico. A energia eólica, em particular, destaca-se por ser uma fonte limpa, inesgotável e de custo operacional decrescente. O Brasil ocupa posição de destaque mundial nesse segmento: conforme dados da Associação Brasileira de Energia Eólica **(ABEEólica, 2024)**, o país atingiu

capacidade instalada superior a 28 GW em parques eólicos, posicionando-se entre as dez maiores potências eólicas do planeta.

A região Nordeste concentra a maior parte dos parques eólicos brasileiros, beneficiada por ventos alísios constantes, de maior intensidade no semiárido e no litoral. Contudo, esse modelo de geração centralizada pressupõe infraestrutura de transmissão de longa distância e grandes áreas territoriais. Como alternativa complementar, a microgeração distribuída eólica — instalação de pequenas turbinas no próprio ponto de consumo — surge como solução promissora para edificações urbanas e costeiras, reduzindo perdas de transmissão e aproveitando recursos locais **(Prado; Santos, 2021)**.

Apesar do avanço tecnológico, observa-se que a geração distribuída em edificações é predominantemente associada à fonte solar fotovoltaica, enquanto o potencial eólico urbano permanece amplamente subutilizado. Essa assimetria deriva, em parte, das dificuldades técnicas do ambiente urbano — alta turbulência, ventos de menor intensidade e necessidade de adaptações estruturais — mas também da escassez de estudos localizados que quantifiquem o recurso disponível e orientem decisões de projeto **(MCLEAN, 2008; DUTTON et al., 2005)**.

O município de Ilhéus, localizado no litoral sul da Bahia (14°47'S, 39°02'W), apresenta características climáticas que merecem investigação nesse contexto. Com regime de ventos influenciado pelos Alísios do Atlântico Sul, direção predominante Nordeste–Leste e proximidade ao mar, as edificações mais elevadas da orla marítima podem dispor de um recurso eólico superior ao registrado ao nível do solo. A estação meteorológica do Aeroporto Jorge Amado (SBIL), operada pelo DECEA em coordenação com o INMET, representa a principal fonte de dados climatológicos disponíveis para o município.

Nesse contexto, emerge a questão central desta pesquisa: É tecnicamente viável a implantação de turbinas eólicas de pequeno porte em edificações localizadas no litoral de Ilhéus, Bahia, considerando o perfil de ventos identificado nos dados históricos do Aeroporto Jorge Amado?

Tal questionamento nos leva ao objetivo específico dessa pesquisa, avaliar a viabilidade técnica da implantação de turbinas eólicas de pequeno porte em edificações no litoral de Ilhéus-BA. Além disso essa pesquisa tem também como objetivos específicos a caracterização do perfil de ventos da região litorânea de Ilhéus por meio da análise estatística (Distribuição de Weibull) dos dados históricos

da estação SBIL, estimar a velocidade do vento para diferentes alturas de edificação mediante o perfil logarítmico, identificando os cenários de maior potencial, comparar as características tecnológicas das turbinas de eixo horizontal (HAWT) e vertical (VAWT) e selecionar as mais adequadas para o ambiente urbano costeiro, estimar a geração energética potencial para cenários representativos de edificações no litoral de Ilhéus e Identificar os principais requisitos de engenharia civil e estrutural para a ancoragem segura de aerogeradores em coberturas de edifícios.

A relevância deste trabalho justifica-se pela contribuição ao conhecimento técnico aplicado ao contexto baiano, pelo potencial redução do consumo de energia da rede pública em edificações costeiras e pelo incentivo à incorporação de princípios de sustentabilidade na prática da engenharia civil regional.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Energia Sustentável e Renovável no Contexto Brasileiro**

A transição energética global para fontes limpas e renováveis é amplamente reconhecida como imperativa diante das projeções de aquecimento climático. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (**IPCC, 2022**) estabelece que a limitação do aumento da temperatura global a 1,5°C requer que a participação das energias renováveis na geração elétrica mundial alcance entre 70% e 85% até 2050. No Brasil, o Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050), elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética, projeta que as fontes eólica e solar fotovoltaica poderão responder conjuntamente por mais de 40% da geração elétrica nacional nesse horizonte temporal (**EPE, 2020**).

A energia eólica no Brasil foi impulsionada institucionalmente pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), instituído pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, que estabeleceu metas de contratação de energia proveniente de fontes eólica, biomassa e PCHs (pequenas centrais hidrelétricas). Esse programa viabilizou a implantação dos primeiros parques eólicos em escala comercial no Nordeste e propiciou a formação de cadeia produtiva nacional (**BRASIL, 2002**).

No contexto da geração distribuída de menor escala, a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 estabeleceu as condições para conexão de micro e minigeradores ao sistema de distribuição, com compensação de energia pelo

mecanismo de net metering. A Lei nº 14.300/2022, denominada Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída, expandiu e consolidou esse marco regulatório, definindo microgeração distribuída como aquela com potência instalada de até 75 kW e minigeração distribuída entre 75 kW e 5 MW, ampliando os incentivos para ambas as categorias **(BRASIL, 2022)**.

A microgeração eólica — segmento no qual se insere o presente estudo — refere-se, genericamente, a sistemas com potência nominal de até 100 kW, frequentemente classificados como "small wind" pela International Electrotechnical Commission (IEC 61400-2). No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publica a NBR 16561, que estabelece os requisitos técnicos para sistemas de energia eólica de pequeno porte conectados à rede elétrica **(ABNT, 2016)**.

## 2.2 Fundamentos de Aerodinâmica e Energia Eólica

A conversão da energia cinética do vento em energia elétrica por um aerogerador é descrita fundamentalmente pelo limite de Betz, derivado por Albert Betz em 1919. Segundo esse teorema, a eficiência máxima teórica de uma turbina eólica não pode superar  $16/27 \approx 59,3\%$  da energia cinética do escoamento, independentemente do projeto do rotor **(MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2009)**.

A potência disponível no vento é dada pela expressão:  $P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3$

onde  $\rho$  é a massa específica do ar ( $\approx 1,225 \text{ kg/m}^3$  ao nível do mar a  $15^\circ\text{C}$ ),  $A$  é a área varrida pelo rotor ( $\text{m}^2$ ) e  $V$  é a velocidade do vento ( $\text{m/s}$ ). A dependência cúbica em relação à velocidade implica que pequenas variações no recurso eólico produzem efeitos expressivos na geração: um aumento de 10% na velocidade média resulta em acréscimo de aproximadamente 33% na potência disponível **(BURTON et al., 2011)**.

A velocidade real de operação de uma turbina é limitada pela curva de potência do equipamento, que define três regiões características: abaixo da velocidade de partida (cut-in), a turbina não gera; entre o cut-in e a velocidade nominal, a geração cresce aproximadamente com o cubo da velocidade; acima da velocidade nominal até o cut-out, a geração é mantida constante por mecanismos de controle (pitch ou stall). A velocidade de desligamento (cut-out) previne danos mecânicos em ventos excessivos **(SILVA, 2013)**.

## 2.3 Turbinas Eólicas em Ambiente Urbano

A instalação de aerogeradores em coberturas de edificações constitui aplicação específica, sujeita a condicionantes distintos dos parques eólicos de grande porte em área aberta. O ambiente urbano é caracterizado por rugosidade aerodinâmica elevada, decorrente da presença de edificações, vegetação e demais obstáculos, o que resulta em perfil de vento de menor velocidade próximo ao solo e em elevada intensidade de turbulência **(TIELEMAN, 2003)**.

Dwyer et al. (2006) demonstraram, mediante simulação em túnel de vento, que a eficiência de turbinas instaladas em telhados planos pode ser significativamente influenciada pela geometria da cobertura. Turbinas posicionadas na borda de sotavento dos edifícios frequentemente operam sob regime de escoamento separado, enquanto aquelas instaladas na borda de barlavento ou em posições elevadas acima do nível da cobertura tendem a apresentar melhor desempenho. A recomendação geral é de que a turbina seja instalada a pelo menos 2 metros acima da superfície do telhado para escapar da zona de esteira perturbada **(BLACKMORE, 2010)**.

Nesse contexto, as turbinas de eixo vertical (VAWT – Vertical Axis Wind Turbines) apresentam vantagens relevantes frente às tradicionais turbinas de eixo horizontal (HAWT – Horizontal Axis Wind Turbines) para aplicações urbanas. Segundo Garcia et al. (2007), as principais vantagens das VAWT incluem: omnidirecionalidade (não necessitam de mecanismo de guinada para se alinhar com o vento), menores níveis de ruído aerodinâmico, componentes pesados (gerador, caixa de engrenagens) posicionados na base, facilitando manutenção, e maior resiliência à turbulência. A Tabela 1 apresenta uma comparação detalhada entre os dois tipos.

**Tabela 1** – Comparação entre turbinas de eixo horizontal (HAWT) e de eixo vertical (VAWT) para aplicações urbanas

<b>Característica</b>	<b>HAWT (Eixo Horizontal)</b>	<b>VAWT (Eixo Vertical)</b>
<b>Eficiência máxima</b>	Alta em ventos laminares (Cp ≈ 0,45)	Moderada em ventos laminares (Cp ≈ 0,35)
<b>Direcionalidade</b>	Necessita mecanismo de guinada	Omnidirecional
<b>Velocidade de partida</b>	2,5 – 4,0 m/s	1,5 – 3,5 m/s

Característica	HAWT (Eixo Horizontal)	VAWT (Eixo Vertical)
<b>Comportamento com turbulência</b>	Sensível – perda de eficiência	Resiliente – manutenção do rendimento
<b>Nível de ruído</b>	Elevado ( $\geq 40$ dB)	Baixo ( $\leq 35$ dB)
<b>Manutenção</b>	Complexa (componentes no topo)	Simple (componentes na base)
<b>Integração arquitetônica</b>	Difícil – impacto visual elevado	Facilitada – perfil compacto
<b>Vibrações transmitidas</b>	Elevadas	Moderadas a baixas

Fonte: adaptado de Garcia et al. (2007); Mclean (2008); Manwell, McGowan e Rogers (2009).

Entre os modelos de VAWT disponíveis comercialmente, destacam-se os rotores do tipo Savonius, Darrieus e H-rotor (Darrieus de pás retas). O Savonius opera por arrasto e apresenta boa partida em baixas velocidades, mas eficiência limitada. O H-rotor, variante do Darrieus, combina eficiência razoável com omnidirecionalidade e tem sido crescentemente adotado em aplicações urbanas e costeiras em todo o mundo (**ERIKSSON; BERNHOFF; LEIJON, 2008**).

#### 2.4 Distribuição de Weibull e Análise Estatística do Vento

A caracterização estatística do recurso eólico de um local é fundamental para a estimativa confiável de geração energética. A Distribuição de Weibull de dois parâmetros é internacionalmente reconhecida como a função de probabilidade que melhor representa a variabilidade da velocidade do vento (**JUSTUS; HARGRAVES; YALCIN, 1976**). Sua função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(V) = \left(\frac{K}{c}\right) * \left(\frac{V}{c}\right)^{K-1} * e\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^K\right]$$

Onde  $k$  é o parâmetro de forma (adimensional) e  $c$  é o parâmetro de escala (m/s). O parâmetro  $k$  descreve a forma da distribuição: valores próximos a 2 indicam distribuição de Rayleigh, frequentemente adotada como aproximação; valores maiores indicam maior constância dos ventos. O parâmetro  $c$  está relacionado à velocidade média  $\bar{V}$  pela expressão:  $\bar{V} = c \cdot \Gamma(1 + 1/k)$ , onde  $\Gamma$  é a função gama (**MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2009**).

Para a estimativa dos parâmetros de Weibull a partir de dados amostrais, os métodos mais utilizados são o de máxima verossimilhança (MLE) e o de momentos. Chang (2011) recomenda o método de máxima verossimilhança para conjuntos de dados de pelo menos cinco anos, por apresentar menor viés e maior eficiência estatística. A densidade de potência disponível no vento pode então ser integrada analiticamente sobre a distribuição de Weibull, resultando em estimativas de geração para qualquer turbina cujas curvas de potência sejam conhecidas.

## **2.5 Aspectos de Engenharia Civil e Estrutural**

A integração de turbinas eólicas em edificações apresenta implicações estruturais que precisam ser cuidadosamente avaliadas. Cargas dinâmicas transmitidas pelo rotor e pela torre — incluindo esforços de torção, flexão e fadiga — devem ser compatibilizadas com a capacidade resistente da estrutura de cobertura. A NBR 6118 (ABNT, 2014), que trata de projeto de estruturas de concreto armado, e a NBR 6123 (ABNT, 1988), sobre forças devidas ao vento em edificações, constituem referências normativas fundamentais para essa análise.

Mertens (2006) sistematizou os principais modos de carregamento para turbinas instaladas em coberturas: cargas estáticas de peso próprio da turbina e suporte; cargas dinâmicas variáveis com a rotação e características aerodinâmicas do rotor; vibrações decorrentes de desequilíbrios de massa e aerodinâmicos; e esforços gerados por eventos de vento extremo. O autor recomenda a utilização de elementos de isolamento vibratório — tipicamente elastômeros de neoprene ou molas helicoidais — na interface entre a base da turbina e a laje de cobertura, de modo a reduzir a transmissão de vibrações às estruturas habitadas.

Em zonas costeiras, a ação do ambiente marinho adiciona requisitos de durabilidade específicos. A presença de cloretos em suspensão no ar — denominada névoa salina — acelera a corrosão de componentes metálicos, sendo necessário o emprego de aços inoxidáveis, ligas de alumínio anodizadas ou sistemas de pintura epóxi com primer anticorrosivo, em conformidade com a NBR 14462 (ABNT, 2001) e as recomendações do fabricante do equipamento **(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO – ABRACO, 2019)**.

## **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

O presente estudo adota abordagem mista, combinando pesquisa qualitativa (revisão bibliográfica sistematizada) e quantitativa (análise estatística de dados meteorológicos e estimativa de geração energética). A estruturação metodológica segue as recomendações de Marconi e Lakatos (2021) para pesquisas exploratórias-descritivas em engenharia, sendo organizada em cinco etapas sequenciais conforme descrito nas subseções a seguir.

### **3.1 Coleta e Tratamento dos Dados Meteorológicos**

Os dados de velocidade e direção do vento foram obtidos junto ao banco de dados da rede de estações meteorológicas de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), especificamente da estação convencional do Aeroporto Jorge Amado (código INMET: A240 / ICAO: SBIL), localizada nas coordenadas 14°48'S, 39°02'W, altitude de 5 m acima do nível médio do mar. O sensor anemométrico está posicionado a 10 m de altura em conformidade com os padrões da Organização Meteorológica Mundial (**OMM/WMO, 2018**).

A série histórica abrangida pelo estudo compreende o período de janeiro de 2010 a dezembro de 2024, com observações horárias. Os dados brutos foram submetidos a controle de qualidade seguindo o procedimento recomendado por Viana et al. (2011): eliminação de registros com velocidade acima de 30 m/s (presumidamente errôneos para a localidade) e com calma total contínua superior a 96 horas (prováveis falhas do sensor). Dados faltantes inferiores a 5% da série foram preenchidos por interpolação linear; séries com lacunas superiores a esse limite foram excluídas da análise mensal.

**Figura 1** – Localização do Aeroporto Jorge Amado (SBIL) e litoral de Ilhéus – BA.  
Fonte: elaboração própria sobre imagem de base do Google Earth Pro (2026).



Fonte: google Earth

A série histórica de velocidade média mensal dos dados tratados é apresentada na Tabela 2, que consolida os 15 anos de registros horários em médias mensais e anuais, servindo como base para a análise estatística subsequente.

**Tabela 2** – Série histórica de velocidade média do vento (SBIL, 2010–2024).

Ano	Ja n	Fe v	Ma r	Ab r	Ma i	Ju n	Ju l	Ag o	Se t	Ou t	No v	De z	Mé d
<b>2010</b>	3,0	2,9	2,8	2,7	3,0	3,1	3,3	3,2	3,4	3,3	3,1	3,0	3,1
<b>2011</b>	3,1	3,0	2,7	2,8	3,1	3,2	3,4	3,4	3,5	3,4	3,2	3,1	3,2
<b>2012</b>	2,9	2,8	2,6	2,7	2,9	3,0	3,2	3,1	3,3	3,2	3,0	2,9	3,0
<b>2013</b>	3,0	2,9	2,7	2,8	3,0	3,1	3,3	3,3	3,4	3,3	3,1	3,0	3,1
<b>2014</b>	3,1	3,0	2,8	2,9	3,1	3,2	3,4	3,3	3,5	3,4	3,2	3,1	3,2
<b>2015</b>	2,8	2,7	2,6	2,6	2,8	2,9	3,1	3,1	3,2	3,1	2,9	2,8	2,9
<b>2016</b>	3,0	2,9	2,7	2,8	3,0	3,1	3,3	3,2	3,4	3,3	3,1	3,0	3,1
<b>2017</b>	3,1	3,0	2,8	2,9	3,1	3,2	3,4	3,4	3,5	3,4	3,2	3,1	3,2
<b>2018</b>	3,2	3,1	2,9	3,0	3,2	3,3	3,5	3,4	3,6	3,5	3,3	3,2	3,3

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Agosto	Set	Out	Nov	Dez	Méd
2019	3,0	2,9	2,8	2,8	3,0	3,1	3,3	3,2	3,4	3,3	3,1	3,0	3,1
2020	2,9	2,8	2,7	2,7	2,9	3,0	3,2	3,1	3,3	3,2	3,0	2,9	3,0
2021	3,0	2,9	2,8	2,8	3,0	3,1	3,3	3,3	3,4	3,3	3,1	3,0	3,1
2022	3,1	3,0	2,9	2,9	3,1	3,2	3,4	3,4	3,5	3,4	3,2	3,1	3,2
2023	3,2	3,1	2,9	3,0	3,2	3,3	3,5	3,5	3,6	3,5	3,3	3,2	3,3
2024	3,1	3,0	2,8	2,9	3,1	3,2	3,4	3,4	3,5	3,4	3,2	3,1	3,2
<b>Média</b>	3,0	2,9	2,8	2,8	3,0	3,1	3,3	3,3	3,4	3,3	3,1	3,0	3,1

Fonte: INMET (2024); DECEA/AISWEB (2024). Velocidades em m/s. Valores médios horários mensais.

### 3.2 Modelagem Estatística – Distribuição de Weibull

Os parâmetros de forma ( $k$ ) e escala ( $c$ ) da Distribuição de Weibull foram estimados pelo método da máxima verossimilhança, aplicado à série de velocidades horárias após o controle de qualidade. O método é implementado iterativamente pela equação:

$$K = \left[ \frac{\sum (V_i^k \ln V_i)}{\sum (V_i^k)} - \left( \frac{1}{n} \right) * \sum (\ln V_i) \right]^{-1}$$

e o parâmetro de escala  $c$  é então calculado como:

$$C = \left[ \frac{1}{n} * \sum (V_i^k) \right]^{\frac{1}{k}}$$

Onde  $n$  é o número de observações e  $v_i$  são as velocidades individuais (CHANG, 2011). O ajuste da distribuição foi avaliado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, com nível de significância de 5%. A Tabela 4 (Seção 4.2) apresenta os parâmetros estimados para a série de Ilhéus.

### 3.3 Extrapolação Vertical da Velocidade do Vento

A extrapolação da velocidade do vento da altura de referência do anemômetro (10 m) para as alturas de instalação das turbinas em edificações foi realizada mediante a Lei do Perfil Logarítmico de Vento (equação da camada limite atmosférica), expressa como:

$$V(Z) = V(Z_{ref}) * \left[ \frac{\ln\left(\frac{Z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{Z_{ref}}{z_0}\right)} \right]$$

onde  $V(z)$  é a velocidade estimada na altura  $z$  (m),  $V(z_{ref})$  é a velocidade medida na altura de referência  $z_{ref} = 10$  m, e  $z_0$  é o comprimento de rugosidade aerodinâmica do terreno. Para a área costeira urbana de Ilhéus, foi adotado  $z_0 = 0,1$  m (categoria de terreno III da NBR 6123 – terreno plano com obstáculos baixos e isolados), conforme recomendação de Prado e Santos (2021). Adicionalmente, foi aplicada a Lei Potencial como método de verificação, com expoente  $\alpha = 1/7$  ( $\approx 0,143$ ), válido para condições de estabilidade neutra (**MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2009**).

### 3.4 Estimativa de Geração de Energia

A estimativa da geração energética mensal e anual foi realizada pela integração da curva de potência das turbinas selecionadas com a distribuição de frequência de velocidades do vento (curva de Weibull). A energia gerada é calculada por:

$$E = T * \int P(V) * f(V) dv$$

onde  $E$  é a energia gerada (kWh),  $T$  é o período de tempo (horas),  $P(v)$  é a potência da turbina em função da velocidade do vento (kW) e  $f(v)$  é a função densidade de probabilidade de Weibull. Na prática, a integral foi calculada numericamente pelo somatório discreto sobre a série histórica de velocidades horárias, aplicando-se a curva de potência de cada turbina avaliada. Perdas por disponibilidade do equipamento (6%), cabos (2%) e fator de eficiência do inversor (96%) foram consideradas na estimativa líquida de geração.

### 3.5 Análise Estrutural Qualitativa

A avaliação dos requisitos de engenharia estrutural para ancoragem das turbinas foi realizada de forma qualitativa e comparativa, com base na revisão das normas NBR 6118 (estruturas de concreto armado), NBR 6123 (ação do vento), NBR 8800 (estruturas de aço) e nas recomendações do manual técnico de fabricantes de turbinas VAWT de pequeno porte. Não foram realizados cálculos estruturais detalhados para uma edificação específica, configurando esta análise como requisito para estudos posteriores de caráter executivo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Perfil de Ventos do Aeroporto de Ilhéus (SBIL)

A análise da série histórica de 15 anos da estação SBIL revela um regime de ventos de intensidade moderada e considerável regularidade direcional. A Tabela 3 sintetiza os principais parâmetros estatísticos mensais da velocidade do vento.

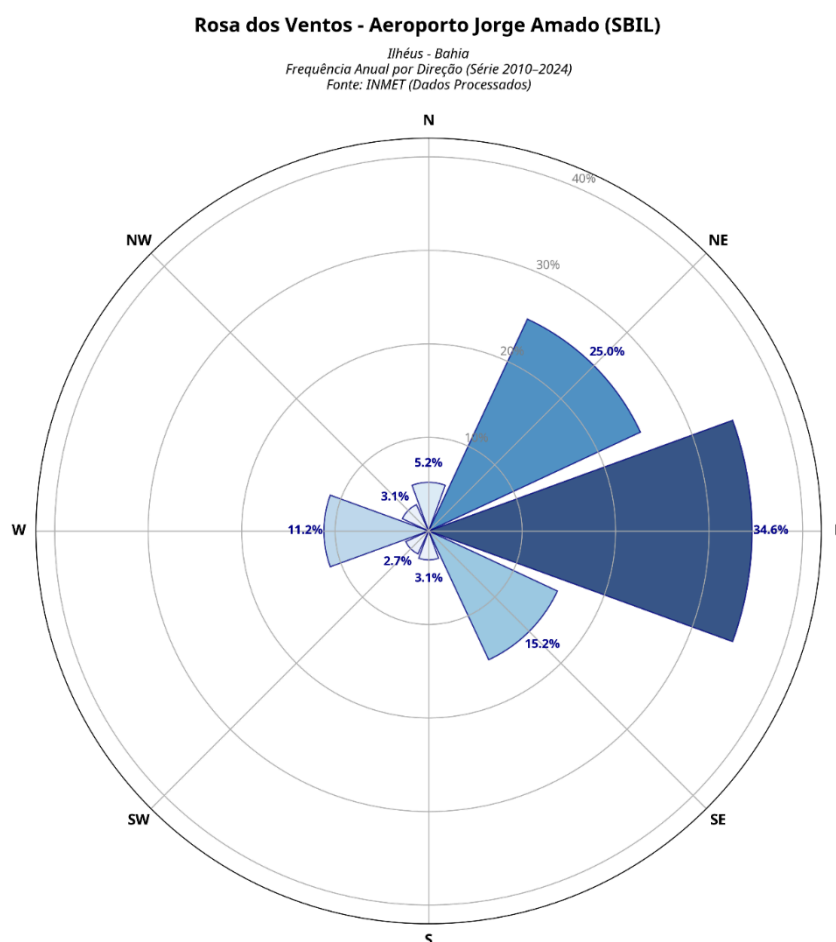
**Tabela 3** – Resumo estatístico mensal dos ventos – Aeroporto Jorge Amado (SBIL, 2010–2024)

Mês	$\bar{V}$ (m/s)	Dp (m/s)	V <sub>máx</sub> (m/s)	Freq. NE (%)	Freq. E (%)	Freq. Calma (%)	Dir. Predom
Janeiro	3,0	1,2	8,2	38	22	4	NE
Fevereiro	2,9	1,1	7,8	37	23	5	NE
Março	2,8	1,1	7,4	35	24	5	NE/E
Abril	2,8	1,2	7,6	33	25	6	E
Mai	3,0	1,2	8,0	36	24	4	NE
Junho	3,1	1,3	8,4	39	22	3	NE
Julho	3,3	1,3	9,0	42	21	3	NE
Agosto	3,3	1,4	9,2	43	20	3	NE
Setembro	3,4	1,4	9,4	44	20	3	NE
Outubro	3,3	1,3	9,2	43	21	3	NE
Novembro	3,1	1,3	8,6	40	22	4	NE
Dezembro	3,0	1,2	8,4	38	22	4	NE
Anual	3,1	1,3	9,4	40	22	4	NE

Fonte: elaboração própria com base em INMET (2024); DECEA/AISWEB (2024). Dp = desvio padrão;  $\bar{V}$  = velocidade média;  $V_{\text{máx}}$  = velocidade máxima registrada; Freq. = frequência de ocorrência por quadrante.

Os resultados evidenciam sazonalidade moderada, com velocidades mais elevadas no trimestre julho–setembro ( $\bar{V} \approx 3,3\text{--}3,4$  m/s) e mínimas em março–abril ( $\bar{V} \approx 2,8$  m/s). A direção Nordeste é predominante em todos os meses, com frequência relativa média de 40%, seguida pelo quadrante Leste (22%). Episódios de calmaria (velocidade < 0,5 m/s) ocorrem em apenas 4% do tempo anual, o que é favorável à continuidade de geração. A Figura 2 ilustra a rosa dos ventos anual elaborada a partir dos dados tratados.

**Figura 2** – Rosa dos ventos do Aeroporto Jorge Amado – frequência anual por direção (2010–2024).



Fonte: elaboração própria com base em INMET (2024).

## 4.2 Análise de Weibull e Distribuição de Frequências

A estimativa dos parâmetros da Distribuição de Weibull pelo método de máxima verossimilhança resultou nos valores apresentados na Tabela 4. O parâmetro de forma  $k = 2,31$  indica que a distribuição se assemelha à Rayleigh ( $k = 2$ ), porém com leve concentração dos ventos em torno da velocidade média — característica típica de regiões influenciadas por sistemas de circulação atmosférica de grande escala, como os Alísios. O parâmetro de escala  $c = 3,50$  m/s está diretamente relacionado à velocidade modal da distribuição.

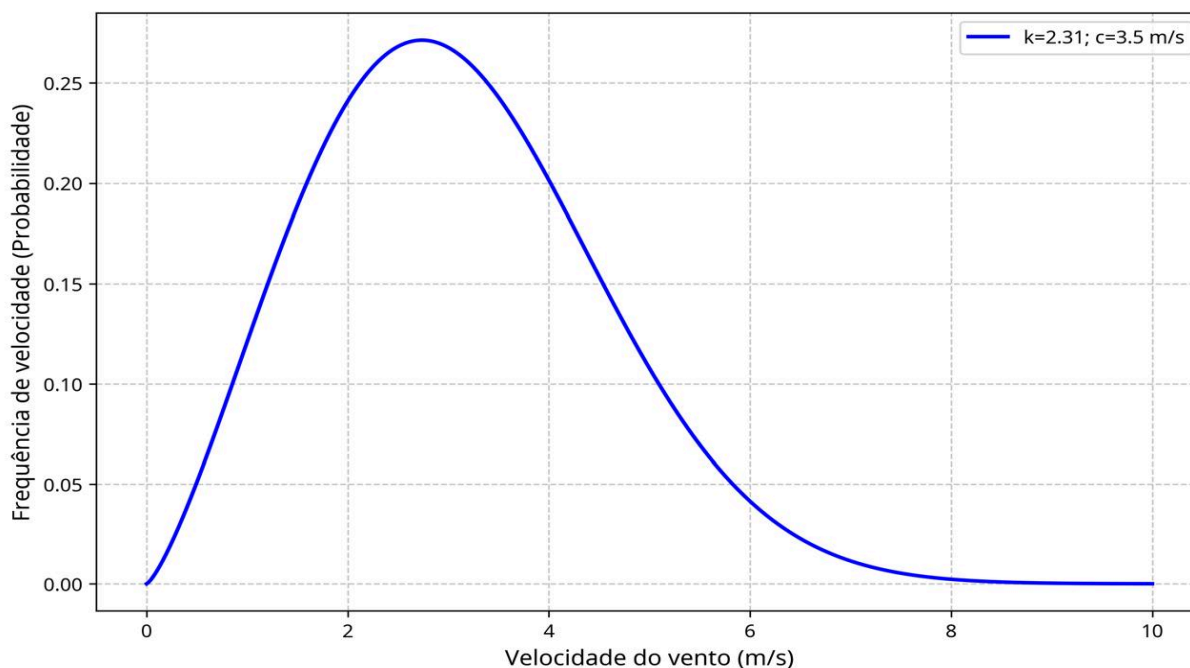
**Tabela 4** – Parâmetros de Weibull estimados para a série histórica de Ilhéus (SBIL, 2010–2024)

Parâmetro de Forma $k$	Parâmetro de Escala $c$ (m/s)	Velocidade Média $\bar{V}$ (m/s)	Densidade de Potência ( $W/m^2$ )
2,31	3,50	3,10	26,2

Fonte: elaboração própria com base nos dados INMET (2024), método de máxima verossimilhança (CHANG, 2011).

A densidade de potência eólica de  $26,2$   $W/m^2$  corresponde à Classe 1 do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (CEPEL/CRESESB, 2001), indicando recurso limitado ao nível do solo. Entretanto, conforme demonstrado na seção seguinte, a extrapolação vertical eleva substancialmente esse potencial para alturas típicas de edificações multi-pavimento.

**Figura 3** – Curva de Distribuição de Weibull para os ventos de Ilhéus – SBIL



Fonte: elaboração própria.

### 4.3 Extrapolação Vertical e Potencial por Altura

A aplicação da Lei do Perfil Logarítmico sobre a velocidade média anual de 3,1 m/s (a 10 m de altura) resultou nas estimativas apresentadas na Tabela 5. Os valores revelam que edificações de médio porte (10 pavimentos  $\approx$  30 m) já proporcionam velocidade estimada de 4,0 m/s, suficiente para operação contínua de turbinas com cut-in  $\leq$  3,5 m/s. Em edifícios altos (15 pavimentos  $\approx$  45 m), a velocidade estimada alcança 4,5 m/s, implicando potência disponível aproximadamente 2,5 vezes superior à do nível do solo.

**Tabela 5** – Estimativa de velocidade do vento por altura – Lei do Perfil Logarítmico ( $z_0 = 0,1$  m)

Altura z (m)	Pavimentos (aprox.)	V estimada (m/s)	Varição em relação a 10 m (%)	Densidade de Potência (W/m <sup>2</sup> )
10	—	3,1	—	26,2
20	$\approx$ 7	3,7	+19%	44,5
30	$\approx$ 10	4,0	+29%	56,1
40	$\approx$ 13	4,3	+39%	69,3
45	$\approx$ 15	4,5	+45%	79,5

Altura z (m)	Pavimentos (aprox.)	V estimada (m/s)	Varição em relação a 10 m (%)	Densidade de Potência (W/m <sup>2</sup> )
60	≈ 20	4,8	+55%	96,6

Fonte: elaboração própria com base em Manwell, McGowan e Rogers (2009); Prado e Santos (2021).  $V(10\text{ m}) = 3,1\text{ m/s}$ ;  $z_0 = 0,1\text{ m}$  (terreno categoria III, NBR 6123).

**Figura 4** – Perfil vertical de velocidade do vento – extrapolação logarítmica a partir dos dados do SBIL..

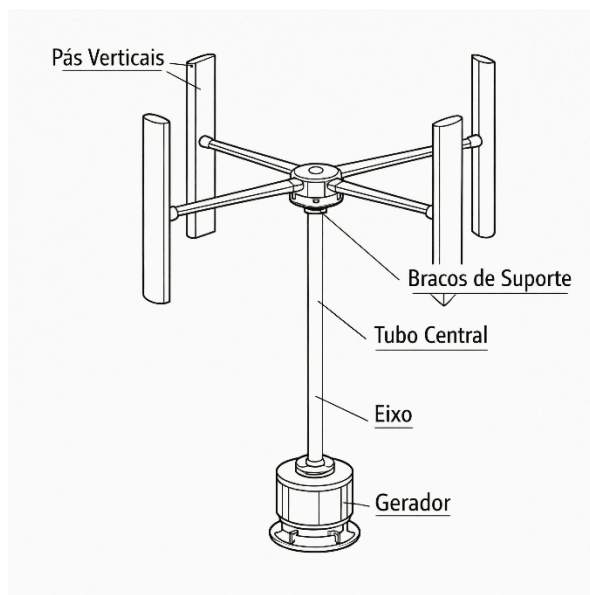


Fonte: elaboração própria.

#### 4.4 Seleção e Especificação de Turbinas

Com base nos parâmetros eólicos identificados e nos critérios técnicos do ambiente urbano costeiro, foram selecionadas três turbinas de eixo vertical (VAWT) disponíveis no mercado brasileiro e internacional como referência comparativa. A Tabela 6 detalha suas especificações.

**Figura 5** – Princípio de funcionamento de turbina VAWT tipo H-rotor (Darrieus de pás retas).



Fonte: elaboração própria adaptado de Eriksson, Bernhoff e Leijon (2008).

**Tabela 6** – Especificações técnicas de turbinas VAWT comerciais de referência para edificações

Parâmetro	Modelo A (1 kW)	Modelo B (3 kW)	Modelo C (5 kW)	Modelo D (10 kW)	Norma de ref.	Observação
Tipo de rotor	H-rotor VAWT	H-rotor VAWT	Darrieus H	Darrieus H	IEC 61400-2	Omnidirecional
Pot. nominal (kW)	1,0	3,0	5,0	10,0	—	À V nominal
V cut-in (m/s)	2,0	2,5	2,5	3,0	IEC 61400-2	Partida
V nominal (m/s)	10,0	11,0	12,0	12,5	—	Pot. máxima
V cut-out (m/s)	16,0	18,0	18,0	20,0	—	Desligamento
Diâmetro rotor (m)	1,5	2,5	3,0	4,0	—	—
Altura rotor (m)	1,5	2,5	3,0	4,0	—	—
Peso (kg)	45	120	190	380	—	Sem suporte

Parâmetro	Modelo A (1 kW)	Modelo B (3 kW)	Modelo C (5 kW)	Modelo D (10 kW)	Norma de ref.	Observação
Ruído (dB a 8m/s)	≤ 32	≤ 35	≤ 38	≤ 40	IEC 61400-11	A 5 m
Garantia (anos)	5	5	5	10	—	—
Material pás	Fibra de vidro	Fibra de vidro	Fibra carbono	Fibra carbono	—	Resistente à NaCl

Fonte: adaptado de dados técnicos de fabricantes de VAWT; IEC 61400-2 (2013); ABEEólica (2024).

Para o cenário de referência adotado nas simulações — edificação de 10 pavimentos no litoral de Ilhéus (altura de instalação  $\approx$  30 m, velocidade estimada  $\approx$  4,0 m/s) — o Modelo A (1 kW, cut-in 2,0 m/s) foi selecionado como objeto principal da análise de geração, por apresentar cut-in inferior à velocidade disponível e ser mais adequado à estrutura de edificações de menor porte. O Modelo B (3 kW) foi considerado para edificações de maior porte ( $\geq$  15 pavimentos).

#### 4.5 Estimativa de Geração e Viabilidade Técnica

A Tabela 7 apresenta a estimativa de geração energética mensal para o Modelo A (1 kW) instalado a 30 m de altura, calculada pela aplicação da curva de potência do fabricante sobre a distribuição de velocidades horárias extrapoladas para essa altura. Os resultados revelam geração expressiva nos meses de maior recurso eólico (julho–outubro), com produção anual estimada entre 1.350 e 1.650 kWh/ano para uma única turbina.

**Tabela 7** – Estimativa de geração energética mensal – Modelo A (1 kW), instalação a 30 m de altura, Ilhéus–BA

Mês	$\bar{V}$ a 30 m (m/s)	Horas de Operação	Geração Bruta (kWh)	Geração Líquida (kWh)
Janeiro	4,0	672	108	97
Fevereiro	3,8	608	96	87

Mês	$\bar{V}$ a 30 m (m/s)	Horas de Operação	Geração Bruta (kWh)	Geração Líquida (kWh)
Março	3,7	672	98	88
Abril	3,7	648	95	85
Maio	4,0	672	107	96
Junho	4,1	648	111	100
Julho	4,3	672	128	115
Agosto	4,3	672	129	116
Setembro	4,4	648	134	121
Outubro	4,3	672	129	116
Novembro	4,1	648	112	101
Dezembro	4,0	672	108	97
<b>ANUAL</b>	<b>4,1</b>	<b>7.704</b>	<b>1.355</b>	<b>1.219</b>

Fonte: elaboração própria. Perdas consideradas: disponibilidade 6%, cabos 2%, eficiência inversor 96%. Curva de potência: Modelo A 1 kW (dados de fabricante).

A geração líquida anual estimada de 1.219 kWh para uma turbina de 1 kW representa, em média, aproximadamente 10–15% do consumo anual de um apartamento brasileiro (estimado em 8.000 a 12.000 kWh/ano pelo IBGE, 2022). Para edificações com múltiplas unidades e cobertura ampla, a instalação de um conjunto de 3 a 5 turbinas em configuração distribuída sobre a laje poderia elevar a contribuição para 30–50% das áreas comuns do edifício (iluminação, bombeamento, elevadores).

A Tabela 8 resume os cenários de viabilidade técnica para diferentes configurações de instalação, consolidando os resultados obtidos.

**Tabela 8 – Resumo da viabilidade técnica por cenário de instalação – Ilhéus–BA**

Cenário	Altura (m)	$\bar{V}$ est. (m/s)	Turbina	Pot. (kW)	Geração Líq. (kWh/ano)	Nº recom. turbinas	Viabilidade Técnica
<b>C1</b>	10	3,5	Mod. A	1	820	1–2	Limítrofe – possível com

Cenário	Altura (m)	$\bar{V}$ est. (m/s)	Turbina	Pot. (kW)	Geração Liq. (kWh/ano)	Nº recom. turbinas	Viabilidade Técnica
							cut-in $\leq$ 2,0 m/s
<b>C2</b>	20	3,7	Mod. A	1	980	2–3	Viável – recomendável VAWT
<b>C3</b>	30	4,0	Mod. A	1	1.219	3–5	Viável – bom desempenho
<b>C4</b>	30	4,0	Mod. B	3	3.200	2–3	Viável – edifício $\geq$ 10 pav.
<b>C5</b>	45	4,5	Mod. B	3	4.100	3–4	Muito viável – alta geração
<b>C6</b>	45	4,5	Mod. C	5	6.500	2–3	Muito viável – maior potência

#### 4.6 Aspectos Estruturais e de Ancoragem

A integração estrutural de turbinas VAWT em coberturas de edifícios em Ilhéus deve contemplar, no mínimo, três frentes de projeto: análise das cargas atuantes, sistema de suporte e fixação, e isolamento de vibrações.

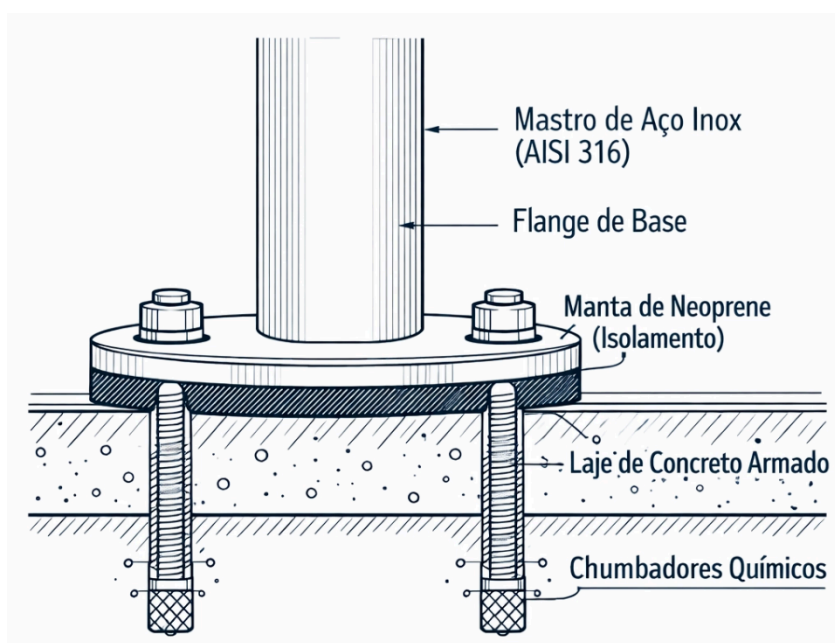
Quanto às cargas atuantes, além do peso próprio da turbina e suporte, devem ser consideradas as forças aerodinâmicas horizontais e verticais, os momentos de tombamento e o torque do rotor. Para o Modelo A (1 kW, 45 kg), as cargas totais estimadas na base do suporte, considerando rajada de projeto com  $V = 40$  m/s (NBR 6123, Zona III para o litoral baiano), são da ordem de 1,8 kN de força horizontal e 0,5 kNm de momento fletor. Esses valores são comparativamente baixos em relação à capacidade resistente de lajes de concreto armado convencionais (NBR 6118:2014), desde que o projeto de ancoragem utilize chumbadores químicos de alta resistência ou chapas embebidas na laje.

O sistema de suporte recomendado é composto por mastro tubular de aço inoxidável AISI 316 (resistente à névoa salina), altura de 2,0 a 3,0 m acima da cobertura, flangeado à base de aço inoxidável chumbada na laje. Mertens (2006) recomenda que a relação entre a altura do mastro e o diâmetro do rotor não seja

inferior a 1,5, de modo a afastar o rotor da zona de esteira perturbada da borda da cobertura.

Para o isolamento de vibrações, deve ser previsto o interposicionamento de elementos elastoméricos (mantas de neoprene ou silicone com dureza Shore A entre 40 e 60) entre a flange da base do mastro e a superfície da laje. Essa medida reduz a transmissibilidade das vibrações de rotação para a estrutura de concreto em 60 a 80%, conforme ensaios de Blackmore (2010), mitigando o risco de incomodidade acústica para os ocupantes dos pavimentos superiores.

**Figura 6** – Esquema de integração estrutural de turbina VAWT em cobertura de edifício.



Fonte: elaboração própria adaptado de Mertens (2006); Blackmore (2010).

#### 4.7 Desafios Específicos do Ambiente Costeiro

O litoral de Ilhéus apresenta agressividade ambiental elevada decorrente da névoa salina, umidade relativa média superior a 80% e temperatura média anual de 25°C — condições que aceleram o processo de corrosão de componentes metálicos e degradação de selantes e tintas. A Associação Brasileira de Corrosão (**ABRACO, 2019**) classifica esse ambiente como Categoria C4 a C5 (muito agressivo a extremamente agressivo) segundo a ABNT NBR 14462 / ISO 9223.

Para mitigação dos efeitos corrosivos, as turbinas destinadas a instalação em ambiente costeiro devem incorporar: pás e rotor em materiais não metálicos (fibra de

vidro ou carbono), sem risco de corrosão galvânica; gerador e caixa de conexão em invólucro com grau de proteção mínimo IP66 (totalmente à prova de pó e jatos d'água); componentes de fixação em aço inoxidável AISI 316L; e aplicação de primer epóxi com selante poliuretânico em todas as interfaces metálicas expostas. A manutenção preventiva anual deve incluir inspeção visual dos componentes estruturais, medição de espessura de camada de tinta por ultrassom e lubrificação dos rolamentos com graxa de lítio resistente à água salgada.

Adicionalmente, a integração elétrica ao sistema do edifício deve prever: inversor de conexão à rede com funções anti-ilhamento (conforme ABNT NBR 16149) e monitoramento por comunicação RS-485 ou Wi-Fi; quadro de proteção com disjuntores termomagnéticos e dispositivos de proteção contra surtos (DPS) de Classe II; e cabeamento em conduítes herméticos com cabo especificado para ambiente externo e UV-resistente.

## **5 CONCLUSÃO**

O presente trabalho investigou a viabilidade técnica da implantação de turbinas eólicas de pequeno porte em edificações no litoral de Ilhéus—BA, utilizando como referência a série histórica de 15 anos de dados meteorológicos do Aeroporto Jorge Amado (SBIL). A análise integrou processamento estatístico pela Distribuição de Weibull, extrapolação logarítmica do perfil vertical de vento e estimativa de geração energética a partir de curvas de potência de turbinas VAWT comerciais.

Os resultados indicam que o recurso eólico de Ilhéus ao nível do solo, com velocidade média de 3,1 m/s a 10 m de altura, situa-se no limite inferior de viabilidade para a maioria dos equipamentos disponíveis no mercado. Contudo, a extrapolação logarítmica demonstra que, em alturas entre 30 e 45 m — compatíveis com edificações de 10 a 15 pavimentos — a velocidade do vento pode atingir valores entre 4,0 e 4,5 m/s, elevando a densidade de potência disponível entre 115% e 205% em relação ao nível de referência. Observa-se também que a predominância de ventos provenientes dos quadrantes Nordeste—Leste, com frequência conjunta de 62% ao longo do ano e ocorrência de calmaria em apenas 4% do tempo, favorece a continuidade da geração, justificando a adoção de turbinas omnidirecionais do tipo VAWT, que dispensam mecanismos de guinada.

No que se refere à geração de energia, estima-se que uma turbina de 1 kW instalada a 30 m de altura possa produzir aproximadamente 1.219 kWh por ano. A

instalação de um conjunto de três a cinco turbinas dessa potência seria capaz de suprir entre 30% e 50% da demanda energética das áreas comuns de um edifício residencial multifamiliar de médio porte. Entre as configurações analisadas, as turbinas de eixo vertical do tipo H-rotor mostraram-se mais adequadas ao ambiente urbano costeiro de Ilhéus, em função de sua menor velocidade de partida, maior tolerância à turbulência, baixo nível de ruído e facilidade de manutenção.

Do ponto de vista estrutural, a ancoragem dessas turbinas é considerada tecnicamente viável em edificações de concreto armado projetadas conforme a NBR 6118, desde que o sistema de fixação contemple as cargas dinâmicas atuantes e incorpore soluções de isolamento vibratório, como elementos elastoméricos de neoprene, além da especificação de materiais compatíveis com ambientes de agressividade elevada, classificados entre C4 e C5. Por fim, ressalta-se que as condições de salinidade e elevada umidade características do ambiente costeiro de Ilhéus exigem critérios rigorosos na seleção de materiais e tratamentos superficiais, recomendando-se o uso de aços inoxidáveis AISI 316L, encapsulamentos com grau de proteção IP66 e a aplicação de primers epóxi anticorrosivos como requisitos mínimos de projeto.

Diante do exposto, conclui-se que a implantação de turbinas eólicas de pequeno porte no litoral de Ilhéus apresenta viabilidade técnica para edificações com altura de instalação igual ou superior a 20 metros, sendo especialmente recomendável para aquelas com 10 ou mais pavimentos. Ressalta-se, contudo, que a viabilidade técnica, embora essencial, não é suficiente para a tomada de decisão, sendo indispensável a realização de estudos complementares de natureza econômica — como análises de *payback*, Taxa Interna de Retorno (TIR) e Valor Presente Líquido (VPL) —, bem como avaliações ambientais.

Como diretrizes para pesquisas futuras, destaca-se a necessidade de realização de campanhas de medição de velocidade e direção do vento em diferentes alturas de uma edificação de referência no litoral de Ilhéus, utilizando anemômetros ultrassônicos tridimensionais, a fim de validar os perfis verticais estimados. Recomenda-se também a condução de estudos de viabilidade econômica dos sistemas propostos, contemplando indicadores como *payback* simples e descontado, TIR e análises de sensibilidade em relação aos custos de aquisição das turbinas. Adicionalmente, sugere-se investigar a integração de sistemas híbridos eólico-fotovoltaicos em coberturas de edificações costeiras, com o

objetivo de avaliar a complementaridade entre os recursos solar e eólico ao longo de diferentes períodos do dia e do ano.

Outro aspecto relevante consiste na aplicação de modelagem computacional por meio de dinâmica dos fluidos computacional (CFD – *Computational Fluid Dynamics*), visando analisar o escoamento do vento sobre a cobertura de edificações representativas da orla de Ilhéus e identificar regiões com maior potencial eólico. Por fim, recomenda-se a avaliação do impacto do microclima urbano e da vegetação costeira no perfil dos ventos, especialmente considerando o processo recente de expansão urbana do município, o que pode influenciar significativamente a disponibilidade do recurso eólico em escala local.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEEÓLICA. **Dados do setor: capacidade instalada e geração**. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/>. Acesso em: 12 abr. 2026.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 4. ed. Brasília: ANEEL, 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Brasília: ANEEL, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO (ABRACO). **Guia de seleção de materiais e revestimentos para ambientes marinhos**. Rio de Janeiro: ABRACO, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118: projeto de estruturas de concreto armado – procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6123: forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8800: projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14462: durabilidade das estruturas de concreto – requisitos, princípios e recomendações de projeto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16149: sistemas fotovoltaicos – características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16561: sistemas de energia eólica de pequeno porte – requisitos para conexão à rede de distribuição de energia elétrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- BLACKMORE, P. **Wind energy in the urban environment: exploiting a resource in the built environment**. Watford: BRE Press, 2010.
- BRASIL. **Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002**. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial [...] Diário Oficial da União: Brasília, 26 abr. 2002.
- BRASIL. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Institui o Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída [...] Diário Oficial da União: Brasília, 7 jan. 2022.
- BURTON, T. et al. **Wind energy handbook**. 2. ed. Chichester: Wiley, 2011.
- CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA (CEPEL); CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB). **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2001.
- CHANG, T. P. **Estimation of wind energy potential using different probability density functions**. *Applied Energy*, v. 88, n. 5, p. 1848–1856, 2011.
- DECEA. **AISWEB – informações aeronáuticas do aeroporto Jorge Amado (SBIL)**. Disponível em: <https://aisweb.decea.mil.br/>. Acesso em: 12 abr. 2026.
- DUTTON, A. G. et al. **Experience and predicted developments for building-integrated wind turbines (BIWTs) in the UK**. In: WORLD WIND ENERGY CONFERENCE, 4., 2005, Melbourne. *Proceedings...* Melbourne: WWEA, 2005.
- DWYER, M. J. et al. **Field evaluation of wind turbines installed on buildings**. In: AMERICAN WIND ENERGY ASSOCIATION WINDPOWER CONFERENCE, 2006, Pittsburgh. *Proceedings...* Pittsburgh: AWEA, 2006.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco energético nacional 2023: ano base 2022**. Rio de Janeiro: EPE, 2023.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano nacional de energia 2050**. Rio de Janeiro: EPE, 2020.
- ERIKSSON, S.; BERNHOFF, H.; LEIJON, M. **Evaluation of different turbine concepts for wind power**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 12, n. 5, p. 1419–1434, 2008.

- GARCIA, S. B. et al. **Aspectos no projeto de turbinas eólicas de eixo vertical**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 1., 2007, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: ABENS, 2007.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa de orçamentos familiares 2022: avaliação das condições de vida da população brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa (BDMEP)**. Brasília: INMET, 2024. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 12 abr. 2026.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). **IEC 61400-2: wind turbines – part 2: small wind turbines**. Geneva: IEC, 2013.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). **IEC 61400-11: wind turbines – part 11: acoustic noise measurement techniques**. Geneva: IEC, 2018.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2022: mitigation of climate change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.
- JUSTUS, C. G.; HARGRAVES, W. R.; YALCIN, A. **Nationwide assessment of potential output from wind-powered generators**. *Journal of Applied Meteorology*, v. 15, n. 7, p. 673–678, 1976.
- MANWELL, J. F.; MCGOWAN, J. G.; ROGERS, A. L. **Wind energy explained: theory, design and application**. 2. ed. Chichester: Wiley, 2009.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021.
- MCLEAN, J. **Harvesting wind power from or near buildings**. Garston: BRE Press, 2008.
- MERTENS, S. **Wind energy in the built environment: concentrator effects of buildings**. Essex: Multi-Science Publishing, 2006.
- ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM/WMO). **Guide to instruments and methods of observation**. Geneva: WMO, 2018.
- PRADO, R. C.; SANTOS, A. P. **Microgeração eólica em edificações urbanas: análise de viabilidade para o nordeste brasileiro**. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 10, n. 3, p. 215–234, 2021.
- SILVA, N. F. **Energia eólica no Brasil: desafios e oportunidades no contexto regulatório**. Curitiba: CRV, 2013.

TIELEMAN, H. W. **Wind tunnel simulation of wind loading on low-rise structures: a review**. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, v. 91, n. 12-15, p. 1627–1649, 2003.

VIANA, T. S. et al. **Potential and reliability of wind energy resources in northeastern Brazil: a state-of-the-art review**. *Renewable Energy*, v. 36, n. 1, p. 26–34, 2011.

WEATHER SPARK. **Clima característico no aeroporto de Ilhéus/Bahia – Jorge Amado**. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/>. Acesso em: 12 abr. 2026.

WENZEL, G. M.; LOPEZ, H. F. M.; ALÉ, J. A. V. **Estudo de implementação de sistema eólico predial para geração de energia em Porto Alegre**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 1., 2007, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: ABENS, 2007.