

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC

**PROJETO ESTRUTURAL DE TURBINAS EÓLICAS
VERTICAIS: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ESTUDOS DE
CASOS PRÁTICOS**

Santo André - SP

2022

Resumo

A utilização de turbinas eólicas para a obtenção de energia elétrica tem crescido, é atualmente uma das principais fontes renováveis mais utilizadas do planeta. Porém os custos de implantação seguem altos, além da necessidade de uma extensa área para o funcionamento do parque eólico ao utilizar turbinas eólicas horizontais. Enquanto as turbinas eólicas verticais necessitam de menor espaço para utilização, e possuem menor custo de fabricação. Assim surge a possibilidade de ampliação do uso da energia eólica através das turbinas verticais, em pequena e média escala, até mesmo em meio às cidades. Os objetivos do presente projeto de pesquisa são primeiramente e fazer uma revisão bibliográfica detalhada dos principais métodos de análise do projeto estrutural de turbinas eólicas verticais e, na sequência, a partir dos modelos selecionados nesta revisão da literatura, fazer estudos de casos envolvendo os métodos considerados, determinando as técnicas, ferramentas, critérios e condições de contorno de tais modelos. Dessa forma talvez aumentar as possibilidades de produção, com a utilização de diferentes materiais e métodos.

Palavras-chave: turbina eólica vertical, projeto estrutural.

1. Introdução

A energia gerada através dos ventos foi utilizada desde o início das civilizações humanas como força motriz, para moagem de alimentos, bombear água e para locomoção com os barcos a vela. No século XIX surgiram os primeiros moinhos associados à geração de energia eólica, segundo Owens (2019) em 1887 o escocês James Blyth (1839-1906) combinou um tradicional moinho de eixo vertical a um gerador de energia elétrica. E no ano seguinte o americano Charles Francis Brush (1849-1929) também produziu uma turbina eólica e começou a gerar energia elétrica.

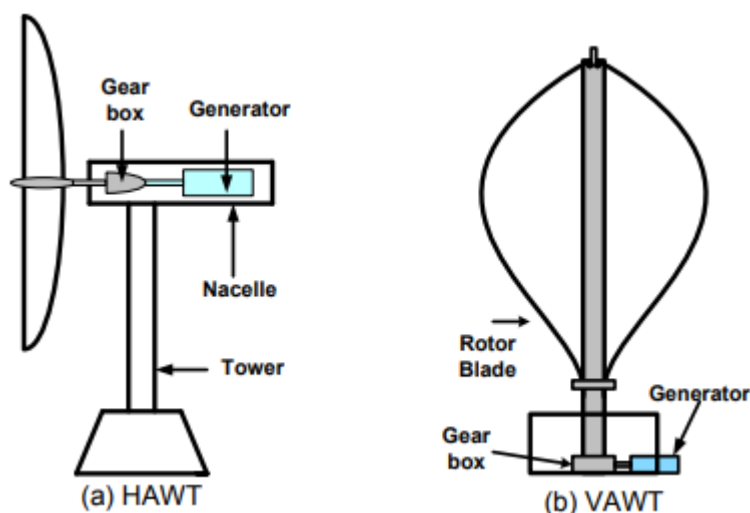
Entretanto, para a geração de energia elétrica em larga escala, fontes de energia advindas do petróleo foram economicamente mais rentáveis por anos, e os danos ao planeta desconhecidos ou ignorados. A busca por fontes de energia renováveis somente passou a ser realizada conforme a necessidade econômica da ampliação da matriz energética surgiu.

Assim, a partir da crise do petróleo na década de 70 a energia eólica passou a ganhar relevância. De acordo com Sharpe e colaboradores (2001) diversos países criaram programas de subsídio para pesquisa, desenvolvimento em energia eólica, sendo assim criadas e testadas novas arquiteturas em busca de melhor custo-benefício para a produção em larga escala, nesse processo houve significativo desenvolvimento científico e tecnológico.

Atualmente a principal motivação para o uso da energia eólica é a necessidade de diminuir as emissões de carbono na atmosfera, visando a produção de energia elétrica de forma sustentável, reduzindo o impacto ambiental. Assim a energia eólica por ser limpa e renovável tem importante papel na crescente diversificação da produção energética mundial, com o objetivo de reduzir as mudanças climáticas.

A energia é gerada através das turbinas eólicas (Wind Turbine – WT) por meio da transformação da energia cinética do ar em energia mecânica, é obtida com geradores elétricos (TAWFIQ *et al.*, 2019). Os aerogeradores podem ser classificados pelo eixo de rotação, ou seja, há turbinas eólicas horizontais (HAWT), que possuem o eixo de rotação paralelo ao solo, e verticais (VAWT), com o eixo de rotação perpendicular ao solo, como ilustrado na figura 1.

Figura 1: tipos de turbinas eólicas por eixo de rotação.



Fonte: (Tawfiq et al., 2019)

As turbinas eólicas horizontais são atualmente mais utilizadas, principalmente em aplicações de larga escala, ao longo dos anos receberam mais investimento para pesquisa e desenvolvimento, porém demandam um amplo espaço para implementação e funcionamento. De acordo com Johari e colaboradores (2018) possuem a grande desvantagem de que sempre devem estar apontando na direção do vento para funcionar com eficiência, sendo assim necessário um mecanismo extra para garantir essa posição das pás.

Enquanto os aerogeradores verticais podem receber vento de qualquer direção, geram menos poluição sonora e visual, pois necessitam de menor área para implantação e são consideravelmente menores em todos os diferentes formatos. São utilizadas para pequena escala, sendo possível a aplicação em construções urbanas e rurais, para complementar ou abastecer totalmente a energia elétrica desses locais, como uma alternativa sustentável.

O menor número de pesquisas relacionadas às turbinas eólicas verticais mostra a necessidade de ampliação dos conhecimentos a respeito dessa alternativa, para o futuro da energia limpa acessível e de menor custo. Essa pesquisa visa a revisão bibliográfica e o estudo de casos práticos dos projetos estruturais das turbinas eólicas verticais, para talvez em um futuro próximo aumentar as possibilidades de produção, utilização de diferentes materiais e métodos.

Para isso, as ferramentas de pesquisa Google Acadêmico, Science Direct e Scielo serão utilizados para a busca de trabalhos sobre projetos estruturais de turbinas eólicas verticais publicados até o presente momento.

2. Justificativa

A geração de energia elétrica através dos ventos é de grande importância em todo o planeta, e no Brasil também tem se tornado relevante. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica, no ano de 2021 o país teve a geração hidrelétrica, sua principal fonte, dificultada pela maior escassez hídrica dos últimos 91 anos, mas também foi marcado pela maior ampliação da geração de energia eólica no país. Ao promover o aumento da operação eólica foi possível garantir a segurança energética, e há planos de aumentar esse incremento na matriz energética para o ano de 2022.

Entretanto, ao considerar a matriz energética de um país tratam-se de aplicações em grande escala, as quais demandam muito investimento financeiro e extenso local destinado à implantação dos aerogeradores, que para essa finalidade possuem turbinas eólicas horizontais.

As turbinas eólicas verticais visam um baixo custo de fabricação e instalação, pois são de pequena escala, objetivando o uso doméstico ou complementar à outra fonte energética. Com a possibilidade de implementação para abastecer prédios, conjuntos habitacionais, universidades e pequenas fábricas.

É inegável a necessidade da energia elétrica para a atividade humana, e a diversificação da matriz energética com enfoque na energia limpa e renovável é o desejado para atender melhor as mais diversas regiões e populações de um país. Nesse sentido as turbinas eólicas verticais podem ter importante papel, garantindo energia elétrica limpa para diversos ambientes e usos. Existindo assim a necessidade de projetos estruturais para essas turbinas, é uma área ainda praticamente não explorada no Brasil, e existem poucos trabalhos dedicados a demonstrar os processos de cálculo e análise estrutural de tais equipamentos.

3. Objetivos

Os objetivos do presente projeto de pesquisa são:

- Etapa 1: Inicialmente fazer uma revisão bibliográfica detalhada dos principais métodos de análise do projeto estrutural de turbinas eólicas verticais;
- Etapa 2: na sequência, a partir dos modelos selecionados na Etapa 1, fazer estudos de caso envolvendo os métodos considerados, determinando as técnicas, ferramentas, critérios e condições de contorno de tais modelos.

4. Metodologia

A metodologia a ser aplicada será:

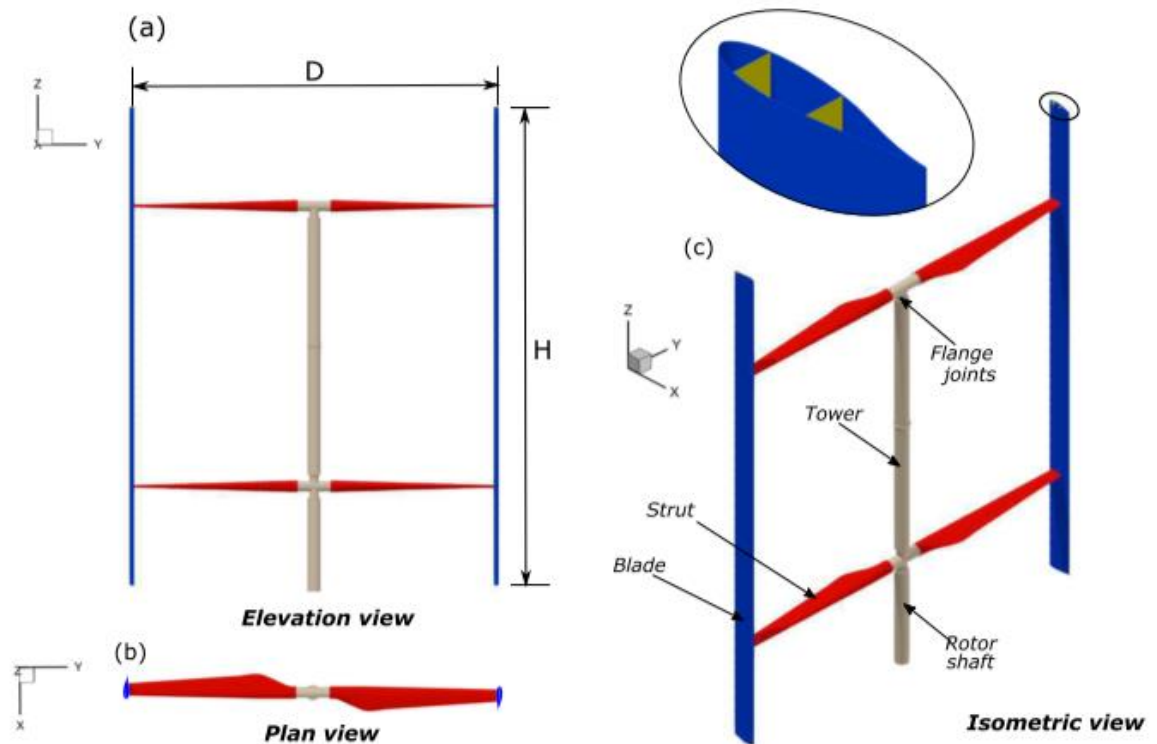
- a. Pesquisa bibliográfica.
- b. Busca de materiais em sites especializados, através da restrição temporal a partir de 2018 para obter trabalhos mais recentes. E turbina eólica vertical como palavras-chave, além da busca por trabalhos envolvendo exemplos de projetos estruturais, também utilizando palavras-chave.
- c. Análise dos dados obtidos e estudo de casos a partir da elaboração dos modelos obtidos com a busca.

Inicialmente baseada em Hand e colaboradores (2021), buscando identificar as condições impostas aos projetos estruturais de turbinas e os processos utilizados para a análise.

Entretanto, dependendo dos resultados da Etapa 1 descrita nos objetivos, outras referências poderão ser selecionadas e combinadas para a realização dos estudos de caso previstos na Etapa 2.

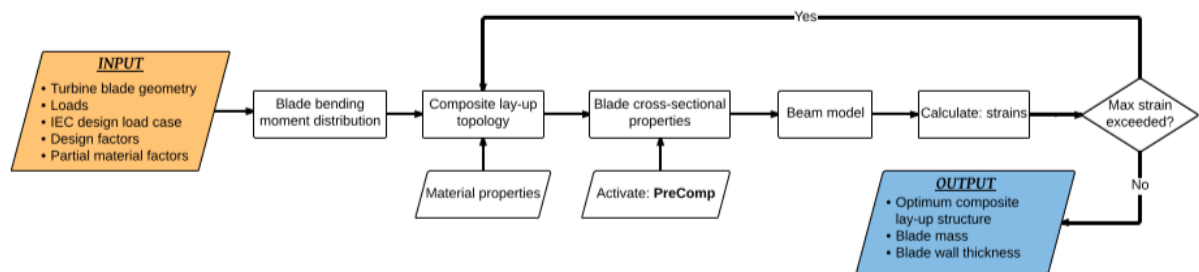
Na figura 2 exemplifica-se o projeto estrutural de uma turbina vertical, projetos como esse serão os objetos de estudo. Na figura 3 há o processo de análise estrutural realizado por Hand e colaboradores (2021), a análise do fluxograma e a replicação dos passos serão um dos estudos de caso desta pesquisa.

Figura 2 – representação estrutural de um tipo de turbina eólica vertical.



Fonte: (HAND *et al.*, 2021).

Figura 3 – fluxograma do processo de análise estrutural.



Fonte: (HAND *et al.*, 2021).

5. Cronograma

O projeto possui duração prevista de um ano. A duração de cada etapa, separada em meses, está contida na Tabela 1.

Tabela 1: Calendário de Execução.

Atividades	out/22	nov/22	dez/22	jan/23	fev/23	mar/23	abr/23	mai/23	jun/23	jul/23	ago/23	set/23
I – Revisão bibliográfica												
II – Seleção de modelos da literatura												
III – Elaboração de modelos preliminares												
IV – Análise de resultados preliminares												
V – Simpósio UFABC 2022 (resultados preliminares)												
VI – Relatório parcial												
VII – Elaboração e atualização de modelos definitivos												
VIII – Análise de resultados e ajuste fino de modelos												
IX – Atualização bibliográfica												
X – Relatório final												
XI – Elaboração de artigo para congresso ou periódico												
XII – Apresentação para Simpósio UFABC 2023												

Fonte: (autor)

Referências

- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Brasil termina 2021 com maior acréscimo em potência instalada desde 2016**. Ministério de Minas e Energia, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/brasil-termina-2021-com-maior-acrescimo-em-potencia-instalada-desde-2016> . Acesso em 15 mar. 2022.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Usinas previstas para 2022 têm estimativa de aumentar a oferta de energia em 7,6 GW**. Ministério de Minas e Energia, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/usinas-previstas-para-2022-tem-estimativa-de-aumentar-a-oferta-de-energia-em-7-6-gw> . Acesso em 15 mar. 2022.
- HAND, B., KELLY, G., & CASHMAN, A. **Structural analysis of an offshore vertical axis wind turbine composite blade experiencing an extreme wind load**. 2020. DOI: 10.1016/j.marstruc.2020.102858. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/344270097_Structural_analysis_of_an_offshore_vertical_axis_wind_turbine_composite_blade_experiencing_an_extreme_wind_load. Acesso em: 16 mar. 2022.
- JOHARI, M. K., JALIL, M. A. A., & SHARIFF, M. F. M. (2018). **Comparison of horizontal axis wind turbine (HAWT) and vertical axis wind turbine (VAWT)**. 2018. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.13.21333. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328448645_Comparison_of_horizontal_axis_wind_turbine_HAWT_and_vertical_axis_wind_turbine_VAWT. Acesso em: 17 mar. 2022.
- OWENS, B. N. **The Wind Power Story: A Century of Innovation That Reshaped the Global Energy Landscape**. 1 ed. Wiley - IEEE Press. 2019. 1-18p.
- PURIFICAÇÃO, L. S., & FONTE, R. B. Della. **Estudo de turbinas eólicas verticais com exemplo de dimensionamento de uma turbina eólica darrieus para aplicação em edifícios**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico Da Universidade Federal Do Espírito Santo. Disponível em: https://mecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/estudo_de_turbinas_eolicas_verticais_com_exemplo_de_dimensionamento_de_uma_turbina_eolica_darrieus_para_aplicacao_em_edificios.pdf. Acesso em: 17 mar. 2022.
- SHARPE, D., BOSSANYI, E., JENKINS, N., & BURTON, T. **Wind Energy Handbook**. 1. ed. Chichester: John Wiley & Sons. 2001. 26-34p.
- SOUZA, R. N. **Modelagem e análise de uma turbina eólica off-shore do tipo spar-buoy**. 2019. Dissertação Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, COPPE, Da Universidade Federal Do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11422/13690>. Acesso em: 10 fev. 2022.

TAWFIQ, K. B., MANSOUR, A. S., RAMADAN, H. S., BECHERIF, M., & EL-KHOLY, E. E. **Wind energy conversion system topologies and converters: Comparative review**. 2019. DOI: 10.1016/j.egypro.2019.04.005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610219313645?via%3Dihub>. Acesso em: 10 fev. 2022.