

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE FONTES RENOVÁVEIS DO TIPO SOLAR E EÓLICA PARA MODELAGEM DE UMA PLANTA HÍBRIDA DE GERAÇÃO DE ENERGIA

Bianca Andrade Galvão¹; Thamiles Rodrigues de Melo²

¹Graduanda em Engenharia de Computação; Iniciação científica – FAPESB
biancandradegalvao@outlook.com

²Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; thamiles.melo@doc.senaicimatec.edu.br

RESUMO

No presente trabalho de pesquisa são apresentadas a modelagem e simulação preliminares de fontes renováveis de geração de energia, do tipo solar e eólica, no ambiente computacional MATLAB/Simulink. O objetivo centrou-se em construir neste ambiente os modelos matemáticos que estão disponíveis na literatura, bem como analisar as curvas dinâmicas de ambas as fontes ao longo de um dia. Assim, foi possível representar o comportamento destas fontes em curtos tempos de processamento, de forma a configurar arranjos viáveis de operação para modelagem de uma planta híbrida de geração de energia. Os resultados demonstraram que a combinação das fontes solar e eólica complementam as características de geração de cada uma, além das deficiências, e de também otimizar a produção total de energia. A pesquisa pode contribuir para o planejamento e dimensionamento de sistemas híbridos, com implicações práticas na busca por um futuro energético mais verde, sustentável e eficiente.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema Fotovoltaico; Aerogerador; Modelagem de Sistemas; Fontes Renováveis de Energia.

1. INTRODUÇÃO

As fontes renováveis de energia são importantes para se alcançar um desenvolvimento sustentável, e entre elas destacam-se as energias solar e eólica como objetos de estudo. O sistema de geração solar converte a luz do sol em eletricidade por meio de placas fotovoltaicas (PV); enquanto o sistema de geração eólica converte a energia cinética do vento em energia elétrica por meio de aerogeradores (AG)¹.

No entanto, as fontes de energia solar e eólica variam em função da sazonalidade e condições climáticas. Em uma rede elétrica que exige um equilíbrio entre geração e consumo, maiores parcelas de fontes renováveis levam a múltiplos desafios. Neste sentido, modelos computacionais desses sistemas são métodos muito úteis na compreensão e análise sobre a oferta e demanda de energia, desde a operação de curto prazo ao planejamento de longo prazo².

Dessa forma, o objetivo nesta pesquisa é modelar e simular fontes solar e eólica para um sistema híbrido de geração de energia em ambiente computacional, de forma a determinar a melhor combinação dessas fontes, levando em consideração as condições climáticas nas quais o sistema está submetido.

2. METODOLOGIA

Segundo Motahhir *et al.*³, o modelo elétrico de uma PV é representado por um circuito elétrico DC composto por diferentes componentes, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1. Esquemático do modelo dinâmico da placa fotovoltaica.



Fonte: Elaboração própria, a partir de (Portal Solar ©, 2014-2023), (FERREIRA, 2018) e MATLAB R2020a.

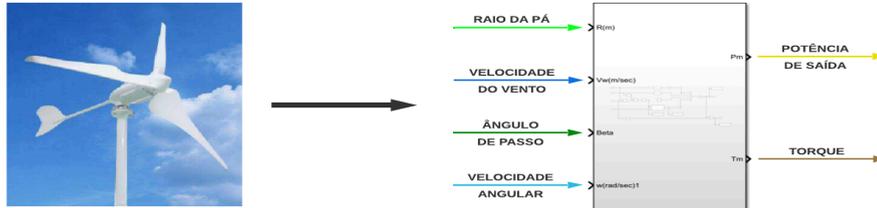
O cálculo da corrente de uma célula fotovoltaica é representado pela Equação (1).

$$I = I_{ph} - I_s \left(\exp \frac{q(V+IR_s)}{akTN_s} - 1 \right) - \frac{(V+IR_s)}{R_{sh}} \quad (1)$$

onde: V é a tensão elétrica [V] e I é a corrente elétrica [A] da célula de uma PV; R_s e R_{sh} são as resistências série e shunt [Ω]; I_{ph} é a corrente da fonte dependente da irradiância solar (G) [Wh/m^2] e da temperatura ambiente (T_A) [$^{\circ}C$]; q é a carga elétrica dos elétrons [C]; k é a constante de Boltzmann [J/K]; T é a temperatura da junção P-N do diodo [K]; a é o fator de idealidade do diodo, correspondente ao tipo de célula da PV; I_s é a corrente de saturação do diodo [A]; N_s é o número de células conectadas em série na placa^{3,4}.

O modelo dinâmico do AG é um modelo matemático que descreve o comportamento do rotor, gerador e sistema de controle em relação às variações do vento e da rede elétrica. Ele é dividido em partes mecânica e elétrica, correspondente aos sinais de saída potência de saída da turbina e torque do rotor, respectivamente, a partir dos sinais de entrada velocidade do vento e velocidade angular, além dos ajustes no raio da pá e no ângulo de passo, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2. Esquemático do modelo dinâmico do aerogerador.



Fonte: Elaboração própria, a partir de (CHAVES, 2018) e MATLAB R2020a

Para calcular a potência mecânica de saída de um sistema de turbina eólica, leva-se em consideração as Equações (2), (3), (4) e (5):

$$P_m = \frac{1}{2} \times C_p(\lambda, \beta) \times \rho \times A \times V_w^3 \quad (2)$$

$$C_p(\lambda, \beta) = C_1 \left[\left(\frac{C_2}{\lambda i} \right) - (C_3 \times \beta) - (C_4 \times \beta^x) - (C_5) \right] e^{-\frac{C_6}{\lambda i}} \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{\omega r \cdot R}{V_w} \quad (4)$$

$$\frac{1}{\lambda i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{1 + \beta^3} \quad (5),$$

onde: P_m é a potência de saída da turbina [W]; C_p é o coeficiente de desempenho/coeficiente de potência depende do β e do λ ; ρ é a densidade do ar [kg/m^3]; A é a área varrida pelas lâminas do rotor, representada pela área da circunferência (πR^2) [m^2]; R é o raio da pá [m]; V_w é a velocidade do vento [m/s]; ωr é a velocidade angular [rad/s]; β é o ângulo de inclinação [graus]; λ (*tip speed ratio* - TSR) é a taxa de velocidade de ponta - relação entre a velocidade do vento na entrada da turbina e a velocidade do vento no ponto onde as pás da turbina estão operando, além de ter em mente a aplicação *gearbox* (relação de transmissão); λi é um valor específico da taxa de velocidade de ponta utilizado para cálculo.

Na Tabela 1 a seguir, tem-se os parâmetros usados na simulação do modelo da PV e do AG, ambos extraídos da literatura como forma de validar os sinais de saída obtidos para os modelos construídos:

Tabela 1. Lista de parâmetros utilizados na simulação dos sistemas PV e AG^{5,6}.

Potência Máxima (Pmax)	Tensão de Circuito Aberto (Voc)	a	Rs	Rsh	Iph	Is	T	Ns	k	q
280W	36,3V	1,3	0,36044 Ω	91,3924 Ω	8,5837 A	2,5916e-10A	273,15K	60	1,3806e-23J/K	1,6022e-19C
Potência nominal	R	Gearbox	Beta (β)	C ₁	C ₂	C ₃ / C ₄	C ₅ / C ₄	C ₆	λi	ρ
370 kW	20 m	1:20	0°	0,5	$\frac{116}{\lambda i}$	0,4 / 0	$5 / \frac{21}{\lambda i}$	0	8,1	1kg/m ³

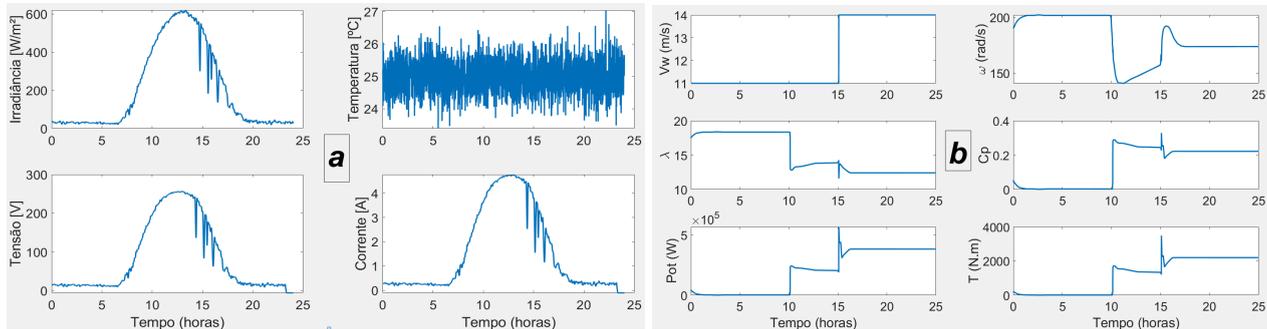
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao construir os modelos no MATLAB/Simulink e aplicar os sinais de entrada disponíveis^{5,6}, foram obtidas as curvas dinâmicas dos sistemas PV e AG durante um dia, como observado na Figura 3.

Na Figura 3(a), é possível inferir que a irradiância atinge seu ponto máximo ao meio-dia, conforme o sol atinge sua posição mais elevada no céu. A corrente e a tensão também aumentam, conforme a

irradiância aumenta. Consequentemente, a potência elétrica gerada pelo sistema PV experimenta um pico acentuado durante o meio do dia. Portanto, os resultados obtidos estão de acordo com o esperado⁵.

Figura 3. Curvas dinâmicas dos sistemas (a) PV e (b) AG durante um período de 24h.



Fonte: Elaboração própria, MATLAB R2020a.

Na Figura 3(b), observa-se que durante a operação sem carga (antes das 15h), a turbina eólica rotaciona sob a influência do vento atingindo altas ω_r . À medida que a carga foi sendo aplicada (após às 15h), implicou na redução da velocidade da turbina, visto que estão acopladas. Essa redução na ω_r reduz o TSR que é proporcional ao λ , que também reduz. Essas reduções implicam em um valor mais alto do C_p , e, portanto, as pás do rotor são capazes de extrair energia do vento, resultando em P_m e torque de saída.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo central a modelagem/simulação de fontes solar e eólica, que, quando combinadas, constituam uma planta híbrida de geração de energia. A análise do comportamento dinâmico dos modelos proporcionou a compreensão sobre a geração nesse contexto, identificando em que circunstâncias uma fonte de energia se sobrepõe à outra. Essas descobertas têm implicações práticas na transição global para fontes de energia mais limpas, contribuindo para um futuro energético mais verde e sustentável, além de mais eficiente e econômico com o passar dos anos¹. O estudo proveniente desta pesquisa também estabeleceu uma base inicial para a verificação de sistemas híbridos de geração de energia, com planos futuros de integração de um modelo de bateria para despacho de energia.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo suporte financeiro na realização deste trabalho.

5. REFERÊNCIAS

- ¹BABATUNDE, Olubayo Moses; MUNDA, Josiah Lange; HAMAM, Yskandar. A comprehensive state-of-the-art survey on hybrid renewable energy system operations and planning. **IEEE Access**, v. 8, p. 75313-75346, 2020.
- ²RINGKJØB, Hans-Kristian; HAUGAN, Peter M.; SOLBREKKE, Ida Marie. A review of modelling tools for energy and electricity systems with large shares of variable renewables. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 96, p. 440-459, 2018.
- ³MOTAHHIR, Saad; EL HAMMOUMI, Aboubakr; EL GHZIZAL, Abdelaziz. Photovoltaic system with quantitative comparative between an improved MPPT and existing INC and P&O methods under fast varying of solar irradiation. **Energy Reports**, v. 4, p. 341-350, 2018.
- ⁴FERREIRA, Andreza Cardoso. **Modelagem e simulação da operação de sistemas de geração com fontes renováveis de energia suprindo minirrede de distribuição**. Orientador: João Tavares Pinho. 2018. 208 f. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Elétrica, Instituto de Tecnologia - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.
- ⁵OFUALAGBA, G.; UBEKU, E. U. **Wind energy conversion system-wind turbine modeling**. In: 2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century. IEEE, 2008. p. 1-8.
- ⁶CHONG, Lee Wai et al. **Modelling and simulation of standalone PV systems with battery-supercapacitor hybrid energy storage system for a rural household**. Energy Procedia, v. 107, p. 232-236, 2017.