

Aplicações de Inteligência Artificial em Energias Renováveis: Uma Revisão Sistemática

Samara Oliveira Silva Santos* André Luiz Carvalho Ottoni*
Erivelton Geraldo Nepomuceno**

* *Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Bahia, Brasil, (e-mail: oss.samara@gmail.com, andre.ottoni@ufrb.edu.br)*

** *Centro de Pesquisa de Energia Oceânica, Dept. de Engenharia Eletrônica, Universidade de Maynooth, Irlanda, (e-mail: erivelton.nepomuceno@mu.ie)*

Abstract: The Artificial Intelligence (AI) and its techniques are a broadly used field in engineering. Especially when studied in relation to renewable energy sources. Its study is important for the continuous development of the sustainable area, both in economic and social issues. Therefore, this paper aims to address the use of AI in renewable energy sources, such as solar and wind, by developing a systematic literature review. Emphasizing on the techniques used and their applications in everyday life. The main AI techniques that are highlighted in this paper are Optimization Methods, Machine Learning, and Fuzzy Logic. In each of the articles cited in this review there is at least one of these methods. In this aspect, it enabled the study in Renewable Energies, thereby highlighting its importance for the evolution of the theme proposed here.

Resumo: A Inteligência Artificial (IA) e suas técnicas são um campo amplamente utilizado na engenharia. Especialmente quando estudado em relação às fontes renováveis de energia. Seu estudo é importante para o desenvolvimento contínuo da área sustentável, tanto em questões econômicas e sociais. Assim, este trabalho visa abordar o uso da IA em fontes renováveis de energia, como a solar e eólica, através do desenvolvimento de uma revisão de literatura sistemática. Destacando sobre as técnicas utilizadas e suas aplicações na vida cotidiana. As principais técnicas de IA aqui destacadas são de Métodos de Otimização, Aprendizado de Máquina e Lógica Fuzzy. Em cada um dos artigos citados nessa revisão há pelo menos um desses métodos. Nesse aspecto, possibilitou o estudo nas Energias Renováveis, destacando assim sua importância para evolução do tema aqui proposto.

Keywords: Machine Learning; Fuzzy; Optimization; Artificial Intelligence; Renewable Energy; Wind Energy; Solar Energy

Palavras-chaves: Aprendizado de Máquina; Fuzzy; Otimização; Inteligência Artificial; Energias Renováveis; Energia Eólica; Energia Solar.

1. INTRODUÇÃO

A Inteligência Artificial (IA) possui várias aplicações na área de energias (Liu et al., 2017; Kaboli et al., 2016, 2017; Rausser et al., 2018; Khare et al., 2019; Papapostolou et al., 2017). Pode-se ressaltar o estudo de Cui et al. (2017) que aborda métodos de otimização para economia de energia. Em outra linha, o trabalho de Lian et al. (2019) pesquisa dimensionamento de metodologias para sistemas híbridos de energia renovável. Por outro lado, Cheng and Yu (2019) aplica Aprendizado de Máquina em um sistema elétrico de potência.

Dessa forma, pode ser percebido diversos avanços de pesquisas nos últimos anos em aplicações de IA também em energias renováveis. Por exemplo, Zhou et al. (2010) discute a otimização dos sistemas híbridos de energia eólica-solar. Em outro estudo, Cavallaro (2010) utiliza da técnica *Fuzzy Multi-Criteria* em análises de energia solar. Por ou-

tro lado, Chin et al. (2015) discute sobre o uso de técnicas para estimar a modelagem de células fotovoltaicas. Outra vertente é a análise e otimização de turbinas eólicas, como proposto por Chehouri et al. (2015). Assim, o estudo de IA aplicada em energias renováveis torna-se um desafio importante para diversos setores econômicos e sociais da sociedade (Di Somma et al., 2018; Sineviciene et al., 2017; Majid et al., 2019; Ahmadi et al., 2018).

Na literatura, algumas revisões sobre a aplicação de IA na área de energias renováveis já foram apresentadas. Por exemplo, Kusiak et al. (2013) realiza o estudo de previsão, operações e condição para geração de energia eólica, baseando-se em abordagens estatísticas, físicas e de mineração de dados para prever a velocidade do vento em diferentes momentos. Por outro lado, Wang et al. (2019) verifica a influência da técnica de Aprendizagem Profunda para energias renováveis, explorando sua eficácia, eficiência e potencial de aplicação. No entanto, a literatura

carece de uma revisão sistemática sobre adoção de IA nas energias solar e eólica. Destaca-se que em trabalhos de revisões anteriores, os estudos concentram-se em apenas uma forma de energia renovável, como solar (Garud et al., 2021). Outras publicações de revisão dedicam-se a uma única área da IA aplicada em energias renováveis, como métodos de otimização (Al-falahi et al., 2017).

Desse modo, o objetivo desta revisão é apresentar um estudo sistemático sobre a utilização da IA em energias renováveis, especialmente solar e eólica. Para isso, a metodologia proposta concentra-se principalmente em modelos de aprendizado de máquina, otimização e lógica fuzzy. Além disso, o estudo é realizado a partir de trabalhos publicados em periódicos com relevante fator de impacto.

Este trabalho é constituído por sete seções. A seção 2 destaca a metodologia de pesquisa proposta. Na sequência, a seção 3 mostra dados preliminares da revisão. Em seguida, as seções 4 e 5 apresentam considerações da literatura sobre a adoção de métodos de Inteligência Artificial e sua aplicação em energias renováveis, respectivamente. Já a seção 6 discorre sobre os trabalhos que possuem pontos semelhantes com o presente artigo. Finalmente, na seção 7 são apresentadas as discussões e perspectivas futuras para a área.

2. METODOLOGIA DE PESQUISA

A metodologia proposta para a realização desta revisão sistemática é dividida em etapas. A primeira fase consiste na busca de trabalhos no base de dados disponibilizado pelo site Scopus¹. Em seguida, foram definidos os periódicos de base, dada a sua afinidade e influência para com o tema e seu fator de impacto (FI):

- Applied Energy, FI (2020) = 9,746;
- Energy, FI (2020) = 7,147;
- Energy and Environment, FI (2020) = 2,945;
- Energy Conversion and Management, FI (2020) = 9,709;
- International Journal of Energy Research, FI (2020) = 5,164;
- Journal of Marine Science and Engineering, FI (2020) = 2,458;
- Ocean Engineering, FI (2020) = 3,795;
- Renewable and Sustainable Energy Reviews, FI (2020) = 14,982;
- Renewable Energy, FI (2020) = 8,001.

As revistas citadas acima foram selecionadas devido à afinidade com a área da pesquisa. Sendo assim, a seleção está em concordância com os assuntos abordados durante essa revisão, e por apresentarem um fator de impacto relevante.

Definida a base de busca, foi determinado uma faixa de seleção por ano de publicação, entre 2010 e 2022, e com enfoque nas palavras chaves, "machine learning", "big data", "deep learning", "reinforcement learning", "fuzzy", "genetic algorithm", "neural networks", "artificial intelligence", "optimization", "robotics", "statistical learning", sendo utilizada 2 ou 3 palavras-chaves durante a pesquisa.

¹ <https://www.scopus.com/home.uri>

Na sequência, após a apuração dos trabalhos selecionados, tem-se uma média de 7 a 8 artigos por periódico. Por fim, foram estabelecidas 6 perguntas essenciais para analisar e caracterizar os artigos selecionados:

- (1) Qual tipo de energia renovável o trabalho aborda?
 - (a) Energia Solar.
 - (b) Energia Eólica.
- (2) Qual objetivo do estudo?
 - Por exemplo, é uma revisão informativa ou de atualizações.
- (3) Quais as principais técnicas de inteligência artificial adotadas?
 - Por exemplo, Aprendizado de Máquina, Lógica Fuzzy, Aprendizado Profundo, Aprendizado por Reforço.
- (4) Como é aplicada inteligência artificial em energias renováveis?
 - Por exemplo, para otimização, análise ou evolução.
- (5) Quais os principais resultados?
 - De acordo com sua funcionalidade, métrica de desempenho e aplicabilidade real.
- (6) Quais são as principais limitações dos estudos e perspectivas para trabalhos futuros?
 - Por exemplo, sugestões de trabalhos futuros.

Sendo assim, é possível distinguir os trabalhos por área de pesquisa, que neste artigo serão tratados de acordo com a energia renovável (eólica ou solar).

Destaca-se também que entre os trabalhos selecionados, alguns que não coincidiram com o atual objetivo proposto nesse artigo. Por exemplo, a aplicação em *SmartGrids* ou *Microgrids*, veículos elétricos e cidades inteligentes. Portanto, foram definidos dois critérios para a exclusão de artigos da revisão sistemática:

- Estudos que não analisaram energias renováveis do tipo solar ou eólica.
- Trabalhos que não aplicaram técnicas de Inteligência Artificial.

3. ANÁLISE PRELIMINAR

Nesta seção será discutido a respeito dos artigos selecionados para a revisão sistemática, de acordo com a técnica de IA utilizada e o tipo de Energia Renovável analisada.

Eram esperado, inicialmente, entre 10 a 15 artigos por periódico, mas após análises e exclusões como já discutido na Seção 2, esse valor foi alterado para entre 5 e 10 trabalhos. Portanto, serão considerados aproximadamente 50 artigos para a revisão sistemática, com período de publicação entre os anos 2010 e 2022.

Quando abordado referente a técnicas de IA, pode-se ter destaque para três técnicas. Onde a técnica de Aprendizado de Máquina e Mineração de Dados é a mais presente nos trabalhos selecionados. Sendo possível observar a presença em 24 artigos, depois tem-se os métodos de otimização com 14 trabalhos e, por fim, a técnica Fuzzy com 9 trabalhos selecionados. Já para o tipo de energia, tem-se a Energia Eólica com 23 artigos, seguida da Energia Solar com 13 artigos.

4. MÉTODOS DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Esta seção aborda os métodos de Inteligência Artificial encontrados na seleção dos artigos para esta revisão sistemática. Os principais tópicos são Métodos de Otimização, Aprendizado de Máquina e Mineração de Dados, e, por fim, Lógica Fuzzy.

4.1 Métodos de Otimização

Os métodos de otimização têm papel de destaque no estudo de energias renováveis (Al-falahi et al., 2017; Xiong et al., 2018; Chen et al., 2013). Nessa linha, Al-falahi et al. (2017) demonstra duas técnicas de otimização para um sistema de energia híbrido solar-eólico. O Algoritmo Singular é utilizado na otimização de sistemas híbridos a partir de uma análise econômica, confiável e ambiental. Em outra via, Xiong et al. (2018) apresenta um método de otimização denominado *Improved Whale Optimization Algorithm*. O trabalho consiste na utilização de uma técnica similar ao Algoritmo Genético para a melhor extração de energia em modelos solar fotovoltaicos. Os autores destacam a eficiência do algoritmo proposto para solução desse problema.

Chen et al. (2013), por sua vez, faz uma análise para energia eólica. Nesse estudo, o algoritmo genético é utilizado para verificar a aplicabilidade de três diferentes condições de vento. Analisando assim a saída de energia de um parque eólico, variando a altura de instalação da turbina eólica. Outro exemplo de aplicação de IA em energia eólica é o trabalho de Gao et al. (2016). O objetivo de Gao et al. (2016) é analisar *layouts* para pás eólicas, verificando qual é melhor aplicada de acordo com a qualidade do vento.

Pode ser citado também o estudo de Garud et al. (2021), que realiza uma revisão sobre *design*, modelagem, potência máxima, rastreamento de pontos, detecção de falhas e previsão de potência/eficiência. Proposto na saída de energia solar em sistemas fotovoltaicos com o uso de algoritmos genéticos. Também vale destacar o trabalho de Adedeji et al. (2021), que usa um treinamento *off-line* com potência máxima para averiguar a utilização de três turbinas eólicas.

Vale ressaltar também os trabalhos que aplicam algoritmos evolutivos em estudos sobre energia eólica. Por exemplo, González et al. (2010) propõe uma abordagem econômica observando a renda anual da venda energia eólica de acordo com a produção individual de cada turbina eólica. Por outro lado, Kusiak and Zheng (2010) utiliza os algoritmos evolutivos na otimização de dados para determinar as configurações de controle ideal de uma turbina eólica. Por fim, Kusiak and Song (2010) descreve um modelo de posição para turbinas eólicas baseado na distribuição de vento local. Assim, é possível calcular suas perdas baseadas na localização da turbina e na direção do vento.

4.2 Aprendizado de Máquina

Os principais metodologias e técnicas de Aprendizado de Máquina utilizadas nos trabalhos selecionados podem ser destacadas como:

- Rede Neural Artificial;

- Máquinas de Vetores de Suporte;

Okumus and Dinler (2016) mostra o uso de redes neurais juntamente com a lógica fuzzy para a previsão estatística de ventos, realizando uma análise mensal para essa abordagem. Em outra vertente, Voyant et al. (2010) utiliza da rede Perceptron Multicamadas (PMC) para a verificação da incidência diária global de raios solares.

Outra linha é a otimização da manutenção baseada em condições para sistemas de geração de energia eólica. Por exemplo, Tian et al. (2011) utiliza de redes neurais para otimizar a manutenção dos equipamentos de um sistema de geração eólica, como o rotor, mancal, caixa de engrenagem e o gerador. Zameer et al. (2017) também viabiliza o uso de redes neurais artificiais na energia eólica. Entretanto, nesse estudo é abordada a previsão inteligente da geração de energia eólica a curto prazo.

A previsão de radiação solar e as características de desempenho dos sistemas solares fotovoltaicos também é outra tema de destaque, como apresentado por Garud et al. (2021). Outro destaque para trabalhos sobre o sistema de geração de energia solar, é o trabalho de Wang et al. (2019). Wang et al. (2019) estuda a previsão de energia fotovoltaica do dia seguinte utilizando redes neurais convolucionais.

As técnicas baseadas em Máquinas de Vetores de Suporte também se destacam em aplicações na área de energias renováveis. Por exemplo, Zeng and Qiao (2013) faz a previsão de energia solar a curto prazo. Em outro estudo, Yuan et al. (2015) aplica um modelo híbrido (LSSVM-GSA) baseado na máquina vetorial de mínimos quadrados de suporte (LSSVM) e algoritmo de busca gravitacional (GSA) para também prever a geração de energia eólica a curto prazo. Seguindo essa linha, Yuan et al. (2017) analisa a previsão de geração de energia eólica com máquina híbrida auto-regressiva de média móvel e vetor de suporte mínimo quadrado integrada por fração.

Ainda no tema de Vetores de Suporte, têm se dois exemplos de uso da Regressão de Vetores de Suporte. O primeiro trabalho é o de Heineremann and Kramer (2016), que investiga a aplicabilidade de algoritmos SVR quando comparados com a técnica de Aprendizado de Máquina para a previsão de geração de energia eólica. Já Chen and Yu (2014) estuda a previsão da velocidade do vento para otimizar a geração de energia eólica renovável. Portanto, realiza um estudo onde é feita a integração de um filtro UKF com um modelo de SVR para estimar a curto prazo a sequência da velocidade do vento.

Outros trabalhos importantes na área de aprendizado de máquina em energias renováveis são: (Şahin et al., 2014; Qolipour et al., 2019; Colak et al., 2012; Kusiak et al., 2013; Wang et al., 2018).

4.3 Lógica Fuzzy

Outra técnica importante de IA na área de energias renováveis é a Lógica Fuzzy. Como exemplo, Cavallaro (2010) propõem e testa a validação e eficácia do método fuzzy para analisar e comparar fluidos de transferência de calor para o uso em geração de energia solar. Ainda no tópico de energia solar, Dounis et al. (2013) propõe

uma metodologia para desenvolver um controlador MPPT (do inglês, *Maximum Power Point Tracking*) para sistemas fotovoltaicos utilizando uma Programação de Ganho Fuzzy do tipo Proporcional-Integral-Derivativo (PID).

Na linha de estudos em energias eólica, Petković et al. (2014) projeta um controlador inteligente baseado na inferência adaptativa de neurofuzzy (ANFIS) para manter a potência máxima de saída da turbina eólica. O trabalho de Adedeji et al. (2021), por sua vez, demonstra a implementação de três turbinas eólicas de diferentes fabricantes, para desenvolver modelos de aprendizagem de máquinas para prever a produção de energia elétrica a curto prazo dos três geradores de energia eólica e investigar a viabilidade da geração integrada para uma indústria pecuária em potencial na área. Por fim, Okumus and Dinler (2016) realiza uma revisão sistemática onde é analisado os recentes avanços na previsão estatística dos ventos a partir de técnicas como Sistema de Inferência Difuso Neuro Adaptativo e Rede Neural Artificial.

5. APLICAÇÕES DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Nesta seção será discutido sobre as contribuições de aplicações da Inteligência Artificial dividida em duas sub-seções sobre Energia Solar e Energia Eólica.

5.1 Energia Solar

Para a Energia Solar é encontrada diversas aplicações de IA. Pode-se citar o estudo de Dounis et al. (2013), em que é feito o controle de Rastreamento Máximo de Pontos de Energia. Utilizando da Lógica Fuzzy, mais precisamente o Controle PID *Fuzzy Gain Scheduling*. Por outro lado, Alfalahi et al. (2017) realiza uma revisão sobre a otimização dos métodos de geração de energia elétrica de um sistema autônomo de energia solar e um sistema híbrido de energia eólica.

Outro setor importante de aplicação é a modelagem de sistema. Garud et al. (2021) discute na sua revisão que aborda o uso de redes neurais artificiais, lógica fuzzy, algoritmos genéticos e modelos híbridos para o sistema de geração de energia solar fotovoltaica. A estimativa de incidência de raios solares, é discutida por Şahin et al. (2014), que aplicando aprendizado de máquina, estima a radiação solar a partir de dados obtidos por satélites. Ainda no quesito de estimativa de raios solares, Tolabi et al. (2014) realiza uma revisão sobre a classificação e comparação de diferentes técnicas de inteligência artificial, como redes neurais artificiais, algoritmos de otimização e lógica fuzzy, na estimativa de raios solares.

A previsão de geração de energia solar é estudada por Zeng and Qiao (2013), que realiza estas análises a partir do uso de Máquina de Vetor de Suporte com as variáveis sendo a cobertura do céu, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento. Voyant et al. (2010) também propõe um estudo sobre previsão, porém aqui é utilizado a otimização de redes neurais artificiais dedicadas a incidência de radiação solar para a geração de energia elétrica.

O armazenamento de energia térmica também utiliza de técnicas de inteligência artificial. Nesse aspecto, Cavallaro (2010) propõe e testa a validade e eficácia da Lógica

Fuzzy. Realizando a comparação de diferentes fluidos de transferência de calor, utilizados no armazenamento de energia, para assim comprovar a viabilidade da utilização de um sal fundido como material desta transferência.

5.2 Energia Eólica

Na Energia Eólica, as principais aplicações, percebidas nos trabalhos selecionados, são de Métodos de Otimização (González et al., 2010; Chen et al., 2013; Kusiak and Zheng, 2010; Tian et al., 2011; Gao et al., 2016) e na previsão de ventos (Chen and Yu, 2014; Qolipour et al., 2019; Hu and Wang, 2015) ou geração de energia renovável (Zhang et al., 2016; Okumus and Dinler, 2016; Kusiak et al., 2013; Colak et al., 2012; Heinermann and Kramer, 2016; Yuan et al., 2015; Zameer et al., 2017; Yuan et al., 2017).

Nos trabalhos de González et al. (2010), Chen et al. (2013) e Gao et al. (2016), é apresentado o estudo da otimização do layout de parques eólicos. González et al. (2010) utiliza de algoritmos evolutivos e algoritmos genéticos para realizar este estudo que calcula a renda anual da venda de energia eólica líquida baseada nas perdas e produção individual de cada turbina presente no parque eólico. Sendo também previsto o terreno de aplicação a direção do vento, restrição de área de limitações na quantidade de turbinas eólicas ou limitação de investimento aplicado. Já Chen et al. (2013), estuda a interferência da altura da instalação de turbinas eólicas na geração de potência de saída de cada turbina, baseado em um algoritmo genético. E o trabalho de Gao et al. (2016), ainda na aplicação em parque eólicas, procura desenvolver e validar um método de Função Gaussiana para modelar uma turbina eólica analítica 2D.

Já a otimização de geração de energia eólica e fator de potência de uma turbina é visto no estudo de Kusiak and Zheng (2010), que se baseia nesta teoria para aplicar um algoritmo evolucionário para realizar as etapas da metodologia. Os dados de fator de potência, potência de saída e variável de controle são obtidos através do método de Mineração de Dados. Já Tian et al. (2011) estabelece um estudo da manutenção de turbinas eólicas através de um estudo ótimo analisando a probabilidade de falha nas turbinas. Além disso, baseia-se na monitoração das condições e informações relativas do local de instalação e características da turbina eólica utilizada.

O Design das pás eólicas para máxima captura de energia eólica é abordado pelo estudo de Kusiak and Song (2010). Sendo possível ressaltar os algoritmos de otimização para analisar a velocidade do vento, a direção do vento e a parametrização das curvas para se obter um design admissível. A geração de energia elétrica sustentável, a partir da força do vento, não fica de fora deste estudo. Adedeji et al. (2021) estuda a aplicação de um modelo híbrido de lógica fuzzy para analisar a melhor incidência de vento e a geração de energia elétrica baseada em três diferentes geradores eólicos. Além disso, Petković et al. (2014) a fim de manter a máxima potência de saída da turbina eólica, projeta um novo controlador inteligente baseado na inferência adaptativa de neurofuzzy.

6. COMPARAÇÃO COM OUTROS TRABALHOS

Nesta seção, é realizada na Tabela 1 a comparação entre a presente proposta com outros trabalhos de revisão que utilizam de Inteligência Artificial nas Energias Renováveis: I (Al-falahi et al., 2017), II (Garud et al., 2021) e III (Liu et al., 2022).

A partir da Tabela 1 é possível perceber que os estudos selecionados analisam 2 ou 3 métodos de IA, entretanto, há pelo menos um tipo de energia renovável estudada em cada. É possível destacar Al-falahi et al. (2017), que analisa duas fonte de energia de modo híbrido (solar-eólica), dedicando-se a estudar a aplicação de métodos de otimização. Já Garud et al. (2021) revisa somente sobre Energia Solar porém há uma variação maior de técnicas de inteligência artificial, métodos de otimização, aprendizado de máquina e lógica fuzzy, quando se comparado a Al-falahi et al. (2017). Além disso, Liu et al. (2022) apresenta um estudo sobre a aplicação de aprendizado de máquina para a fonte de energia eólica.

Por fim, diferenciando-se dos artigos previamente citados, o presente trabalho se dedica a dissertar acerca de 3 técnicas de inteligência artificial, métodos de otimização, aprendizado de máquina e lógica fuzzy, e 2 tipos de energias renováveis, energia eólica e energia solar.

Tabela 1. Comparação entre a presente proposta (Prop.) com trabalhos que realizam revisão sobre o uso de Inteligência Artificial nas Energias Renováveis: I (Al-falahi et al., 2017), II (Garud et al., 2021) e III (Liu et al., 2022)

		Prop.	I	II	III
Métodos da IA	Métodos de Otimização	✓	✓	✓	-
	Aprendizado de Máquina	✓	-	✓	✓
	Fuzzy	✓	-	✓	-
Tipo de Energia	Energia Eólica	✓	✓	-	✓
	Energia Solar	✓	✓	✓	-

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As técnicas de Inteligência Artificial são importantes para o estudo e análise da energia renovável, sendo possível aplicá-las em modelos reais, proporcionando melhorias na vida diária. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão a respeito da aplicabilidade da Inteligência Artificial em duas fontes renováveis de energia: eólica e a solar. Sendo assim, foram selecionados artigos de revistas relevantes para com o tema de energia, sustentabilidade e métodos de inteligência artificial.

Os principais temas aqui destacados foram as técnicas de Aprendizado de Máquina, métodos de otimização e Lógica Fuzzy, estes três temas se mostraram presente nos artigos selecionados. Vale destacar os estudos sobre a Energia Eólica, onde foram analisados 23 trabalhos que aplicaram desde a previsão do vento até métodos de otimização de turbinas. Por outro lado, em termos de Energia Solar, ressalta-se os métodos de previsão de radiação solar.

As perspectivas futuras quanto aos possíveis estudos da Inteligência Artificial para aplicação nas Energias Renováveis, podem ser vistas nas melhorias dos trabalhos mais recentes presentes nesta revisão. Nesse sentido, destaca-se os seguintes direcionamentos apontados:

- (1) Investigar a aplicação de outras técnicas de Inteligência Artificial (Yuan et al., 2017).
- (2) Atualizar e aprimorar os dados utilizados (Feng et al., 2017; Zameer et al., 2017).
- (3) Expandir o estudo para a aplicação em outras Energias Renováveis (Xiong et al., 2018; Adedeji et al., 2021).

Em trabalhos futuros, sugere-se analisar individualmente a influência das técnicas de IA em cada uma das energias renováveis aqui citadas. Assim, buscando-se verificar a aplicabilidade, eficácia e eficiência de cada método em relação a energia estudada. Assim, estudar possíveis combinações de melhor técnica para dada energia renovável estudada.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e a Universidade de Maynooth.

REFERÊNCIAS

- Adedeji, P.A., Akinlabi, S.A., Madushele, N., and Olatunji, O.O. (2021). Hybrid neurofuzzy wind power forecast and wind turbine location for embedded generation. *International Journal of Energy Research*, 45(1), 413–428.
- Ahmadi, M.H., Banihashem, S.A., Ghazvini, M., and Sadeghzadeh, M. (2018). Thermo-economic and exergy assessment and optimization of performance of a hydrogen production system by using geothermal energy. *Energy & Environment*, 29(8), 1373–1392.
- Al-falahi, M.D., Jayasinghe, S., and Enshaei, H. (2017). A review on recent size optimization methodologies for standalone solar and wind hybrid renewable energy system. *Energy Conversion and Management*, 143, 252–274.
- Cavallaro, F. (2010). Fuzzy topsis approach for assessing thermal-energy storage in concentrated solar power (csp) systems. *Applied Energy*, 87(2), 496–503.
- Chehouri, A., Younes, R., Ilinca, A., and Perron, J. (2015). Review of performance optimization techniques applied to wind turbines. *Applied Energy*, 142, 361–388.
- Chen, K. and Yu, J. (2014). Short-term wind speed prediction using an unscented kalman filter based state-space support vector regression approach. *Applied Energy*, 113, 690–705.
- Chen, Y., Li, H., Jin, K., and Song, Q. (2013). Wind farm layout optimization using genetic algorithm with different hub height wind turbines. *Energy Conversion and Management*, 70, 56–65.
- Cheng, L. and Yu, T. (2019). A new generation of ai: A review and perspective on machine learning technologies applied to smart energy and electric power systems. *International Journal of Energy Research*, 43(6), 1928–1973.
- Chin, V.J., Salam, Z., and Ishaque, K. (2015). Cell modelling and model parameters estimation techniques for photovoltaic simulator application: A review. *Applied Energy*, 154, 500–519.
- Colak, I., Sagiroglu, S., and Yesilbudak, M. (2012). Data mining and wind power prediction: A literature review. *Renewable Energy*, 46, 241–247.

- Cui, Y., Geng, Z., Zhu, Q., and Han, Y. (2017). Review: Multi-objective optimization methods and application in energy saving. *Energy*, 125, 681–704.
- Di Somma, M., Graditi, G., Heydarian-Forushani, E., Shafie-khah, M., and Siano, P. (2018). Stochastic optimal scheduling of distributed energy resources with renewables considering economic and environmental aspects. *Renewable energy*, 116, 272–287.
- Dounis, A.I., Kofinas, P., Alafodimos, C., and Tseles, D. (2013). Adaptive fuzzy gain scheduling pid controller for maximum power point tracking of photovoltaic system. *Renewable energy*, 60, 202–214.
- Feng, C., Cui, M., Hodge, B.M., and Zhang, J. (2017). A data-driven multi-model methodology with deep feature selection for short-term wind forecasting. *Applied Energy*, 190, 1245–1257.
- Gao, X., Yang, H., and Lu, L. (2016). Optimization of wind turbine layout position in a wind farm using a newly-developed two-dimensional wake model. *Applied Energy*, 174, 192–200.
- Garud, K.S., Jayaraj, S., and Lee, M.Y. (2021). A review on modeling of solar photovoltaic systems using artificial neural networks, fuzzy logic, genetic algorithm and hybrid models. *International Journal of Energy Research*, 45(1), 6–35.
- González, J.S., Rodriguez, A.G.G., Mora, J.C., Santos, J.R., and Payan, M.B. (2010). Optimization of wind farm turbines layout using an evolutive algorithm. *Renewable energy*, 35(8), 1671–1681.
- Heinermann, J. and Kramer, O. (2016). Machine learning ensembles for wind power prediction. *Renewable Energy*, 89, 671–679.
- Hu, J. and Wang, J. (2015). Short-term wind speed prediction using empirical wavelet transform and gaussian process regression. *Energy*, 93, 1456–1466.
- Kaboli, S.H.A., Fallahpour, A., Selvaraj, J., and Rahim, N. (2017). Long-term electrical energy consumption formulating and forecasting via optimized gene expression programming. *Energy*, 126, 144–164.
- Kaboli, S.H.A., Selvaraj, J., and Rahim, N. (2016). Long-term electric energy consumption forecasting via artificial cooperative search algorithm. *Energy*, 115, 857–871.
- Khare, V., Nema, S., and Baredar, P. (2019). Reliability analysis of hybrid renewable energy system by fault tree analysis. *Energy & Environment*, 30(3), 542–555.
- Kusiak, A. and Song, Z. (2010). Design of wind farm layout for maximum wind energy capture. *Renewable energy*, 35(3), 685–694.
- Kusiak, A., Zhang, Z., and Verma, A. (2013). Prediction, operations, and condition monitoring in wind energy. *Energy*, 60, 1–12.
- Kusiak, A. and Zheng, H. (2010). Optimization of wind turbine energy and power factor with an evolutionary computation algorithm. *Energy*, 35(3), 1324–1332.
- Lian, J., Zhang, Y., Ma, C., Yang, Y., and Chaima, E. (2019). A review on recent sizing methodologies of hybrid renewable energy systems. *Energy Conversion and Management*, 199, 112027.
- Liu, Y., Hajj, M., and Bao, Y. (2022). Review of robot-based damage assessment for offshore wind turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, 112187.
- Liu, Y., Wang, W., and Ghadimi, N. (2017). Electricity load forecasting by an improved forecast engine for building level consumers. *Energy*, 139, 18–30.
- Majid, M. et al. (2019). Wind energy programme in india: Emerging energy alternatives for sustainable growth. *Energy & Environment*, 30(7).
- Okumus, I. and Dinler, A. (2016). Current status of wind energy forecasting and a hybrid method for hourly predictions. *Energy Conversion and Management*, 123, 362–371.
- Papapostolou, A., Karakosta, C., and Doukas, H. (2017). Analysis of policy scenarios for achieving renewable energy sources targets: A fuzzy topsis approach. *Energy & Environment*, 28(1-2), 88–109.
- Petković, D., Žarko Čojbašić, Nikolić, V., Shamshirband, S., Mat Kiah, M.L., Anuar, N.B., and Abdul Wahab, A.W. (2014). Adaptive neuro-fuzzy maximal power extraction of wind turbine with continuously variable transmission. *Energy*, 64, 868–874.
- Qolipour, M., Mostafaeipour, A., Saidi-Mehrabad, M., and Arabnia, H.R. (2019). Prediction of wind speed using a new grey-extreme learning machine hybrid algorithm: A case study. *Energy & Environment*, 30(1), 44–62.
- Rausser, G., Strielkowski, W., and Štreimikienė, D. (2018). Smart meters and household electricity consumption: A case study in ireland. *Energy & Environment*, 29(1), 131–146.
- Şahin, M., Kaya, Y., Uyar, M., and Yıldırım, S. (2014). Application of extreme learning machine for estimating solar radiation from satellite data. *International Journal of Energy Research*, 38(2), 205–212.
- Sinevičienė, L., Sotnyk, I., and Kubatko, O. (2017). Determinants of energy efficiency and energy consumption of eastern europe post-communist economies. *Energy & Environment*, 28(8), 870–884.
- Tian, Z., Jin, T., Wu, B., and Ding, F. (2011). Condition based maintenance optimization for wind power generation systems under continuous monitoring. *Renewable Energy*, 36(5), 1502–1509.
- Tolabi, H.B., Moradi, M., and Ayob, S.B.M. (2014). A review on classification and comparison of different models in solar radiation estimation. *International journal of energy research*, 38(6), 689–701.
- Voyant, C., Muselli, M., Paoli, C., and Nivet, M.L. (2010). Optimization of an artificial neural network dedicated to the multivariate forecasting of daily global radiation. *Energy*, 36.
- Wang, H., Lei, Z., Zhang, X., Zhou, B., and Peng, J. (2019). A review of deep learning for renewable energy forecasting. *Energy Conversion and Management*, 198, 111799.
- Wang, K., Qi, X., Liu, H., and Song, J. (2018). Deep belief network based k-means cluster approach for short-term wind power forecasting. *Energy*, 165, 840–852.
- Xiong, G., Zhang, J., Shi, D., and He, Y. (2018). Parameter extraction of solar photovoltaic models using an improved whale optimization algorithm. *Energy Conversion and Management*, 174, 388–405.
- Yuan, X., Chen, C., Yuan, Y., Huang, Y., and Tan, Q. (2015). Short-term wind power prediction based on lssvm-gsa model. *Energy Conversion and Management*, 101.
- Yuan, X., Tan, Q., Yuan, Y., and Wu, X. (2017). Wind power prediction using hybrid autoregressive fractionally integrated moving average and least square sup-

- port vector machine. *Energy*, 129.
- Zameer, A., Arshad, J., Khan, A., and Raja, M.A.Z. (2017). Intelligent and robust prediction of short term wind power using genetic programming based ensemble of neural networks. *Energy Conversion and Management*, 134.
- Zeng, J. and Qiao, W. (2013). Short-term solar power prediction using a support vector machine. *Renewable Energy*, 52, 118–127.
- Zhang, Y., Liu, K., Liang, Q., and An, X. (2016). Deterministic and probabilistic interval prediction for short-term wind power generation based on variational mode decomposition and machine learning methods. *Energy Conversion and Management*, 112, 208–219.
- Zhou, W., Lou, C., Li, Z., Lu, L., and Yang, H. (2010). Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar–wind power generation systems. *Applied Energy*, 87(2), 380–389.