

15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

Inteligência Artificial Aplicada à Otimização de Consumo Energético: Uma Revisão Sistemática de Técnicas e Aplicações

Vinicius de Souza Santos¹, Getúlio Teruo Tateoki²

¹ Graduando em Engenharia da Computação, voluntariado PIVICT, IFSP, Campus Birigui, vinicius.santos@ifsp.edu.br

² Docente, Área da Indústria, Instituto Federal de São Paulo, Campus Birigui, getuliot@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 1.03.03.04-9 Sistemas de Informação

RESUMO: A eficiência energética é uma questão central para o desenvolvimento sustentável, essencial para a redução do consumo de energia e das emissões de gases de efeito estufa. Este estudo realiza uma revisão sistemática das principais técnicas de Inteligência Artificial (IA) aplicadas à otimização da eficiência energética, com ênfase em *Machine Learning*, *Reinforcement Learning* e Redes Neurais. A pesquisa foi conduzida na base *IEEE Xplore*, utilizando os termos "*energy efficiency*" e "*Artificial Intelligence*", resultando em 98 estudos relevantes após a aplicação de critérios de inclusão e exclusão. As principais aplicações de IA identificadas incluem a previsão de demanda energética, com 33 estudos, e a gestão de energia, com 30 estudos. Os resultados indicam que as técnicas de IA têm o potencial de otimizar o consumo de energia, especialmente em infraestruturas tecnológicas mais avançadas. No entanto, a implementação dessas técnicas em cidades emergentes apresenta desafios, como a escassez de dados em tempo real e a integração de tecnologias em infraestruturas menos desenvolvidas. Sugere-se que futuras pesquisas abordem essas barreiras com foco na coleta de dados em tempo real e no desenvolvimento de soluções adaptáveis a contextos locais.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência Energética, Inteligência Artificial, Machine Learning, Previsão de Demanda, Gestão de Energia, Redes Neurais.

Artificial Intelligence Applied to Energy Consumption Optimization: A Systematic Review of Techniques and Applications

ABSTRACT: Energy efficiency is a critical issue for sustainable development, essential for reducing energy consumption and greenhouse gas emissions. This study conducts a systematic review of the main Artificial Intelligence (AI) techniques applied to optimizing energy efficiency, with an emphasis on Machine Learning, Reinforcement Learning, and Neural Networks. The research was conducted in the IEEE Xplore database using the terms "energy efficiency" and "Artificial Intelligence," resulting in 98 relevant studies after applying inclusion and exclusion criteria. The main AI applications identified include energy demand forecasting, with 33 studies, and energy management, with 30 studies. The results indicate that AI techniques have significant potential to optimize energy consumption, especially in technologically advanced infrastructures. However, their implementation in emerging cities faces challenges, such as real-time data scarcity and integration into less developed infrastructures. Future research should address these barriers by focusing on real-time data collection and developing adaptable solutions tailored to local contexts.

KEYWORDS: Energy Efficiency, Artificial Intelligence, Machine Learning, Demand Forecasting, Energy Management, Neural Networks.

INTRODUÇÃO

A eficiência energética é uma prioridade para o desenvolvimento sustentável e a mitigação das mudanças climáticas, ajudando a reduzir o consumo de energia e as emissões de gases de efeito estufa

(Goldemberg et al., 2018). Com o aumento da demanda global por energia, o uso de tecnologias avançadas como a Inteligência Artificial (IA) torna-se crucial para otimizar o consumo energético, melhorar a distribuição e promover a sustentabilidade em setores residenciais, industriais e de serviços (Época Negócios, 2019).

A IA abrange diversas técnicas, como Sistemas Especialistas, Lógica Fuzzy, Redes Neurais Artificiais e Sistemas Multiagentes, que permitem a tomada de decisões inteligentes em tempo real para a gestão energética. No campo das redes elétricas inteligentes, essas tecnologias ajudam a integrar fontes de energia renováveis e a prever a demanda com maior precisão, promovendo uma distribuição de energia mais eficiente (Zogaan, 2022; Salam & El Hibaoui, 2018). Nos edifícios, a automação baseada em IA ajusta sistemas de climatização para maximizar o conforto dos ocupantes, ao mesmo tempo que minimiza o consumo de energia (Godinho, 2020). Além disso, a IA é aplicada no setor industrial, permitindo manutenção preditiva e a otimização de processos, o que resulta em maior produtividade e redução de custos operacionais (Machado, 2024).

Este estudo realiza uma revisão sistemática das diversas técnicas de IA aplicadas à eficiência energética, com foco em Redes Neurais, Lógica Fuzzy, Sistemas Especialistas, e Sistemas Multiagentes, além de algoritmos de Machine Learning como Random Forest. São discutidos os desafios na implementação de IA, como a escassez de estudos focados em cidades emergentes e a necessidade de integrar dados em tempo real de sistemas de Internet das Coisas (IoT).

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo é uma **revisão sistemática** que visa identificar as técnicas de Inteligência Artificial (IA) mais eficazes para otimizar a eficiência energética em setores residenciais, industriais e urbanos. O foco principal está nas aplicações práticas de IA que demonstram resultados reais na melhoria da eficiência energética.

A pesquisa foi realizada na base de dados *IEEE Xplore*, utilizando as palavras-chave "*energy efficiency*", "*Artificial Intelligence*" e "*machine learning*". **Somente estudos revisados por pares e de acesso gratuito** foram considerados para garantir a relevância e a qualidade dos artigos selecionados.

A busca foi limitada a estudos publicados **entre 2020 e 2024**, assegurando que as tecnologias e abordagens analisadas fossem atuais e aplicáveis às tendências emergentes de IA.

Para assegurar a inclusão de estudos relevantes e alinhados aos objetivos do estudo, foram estabelecidos critérios rigorosos, como mostra a Tabela 1:

Tabela 1: Critérios de Inclusão e Exclusão.

Critérios de Inclusão	Critérios de Exclusão
- Estudos publicados entre 2020 e 2024	- Estudos publicados antes de 2020
- Trabalhos revisados por pares	- Trabalhos sem evidência prática validada
- Aplicações práticas de IA na eficiência energética	- Trabalhos com metodologia inadequada ou superada

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

Esses critérios garantiram que apenas estudos com **aplicações práticas e métodos validados** fossem incluídos na revisão, excluindo aqueles com métodos teóricos ou sem validação experimental.

A estratégia de busca envolveu a combinação de termos como "*energy efficiency*" e "*Artificial Intelligence*" para capturar uma ampla gama de pesquisas relevantes. Além disso, foram aplicadas técnicas de mineração de dados para extrair informações como **título, ano de publicação, autores, palavras-chave e métricas de citação**.

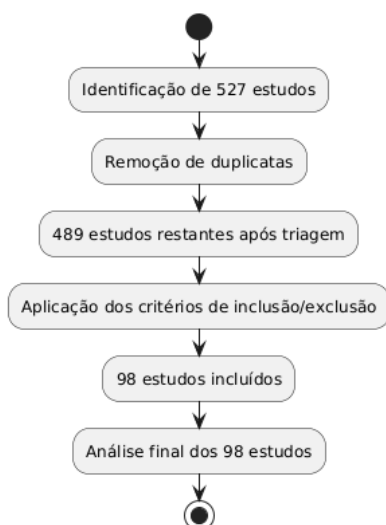
Para a análise dos estudos, utilizamos Python 3.10.12, com as bibliotecas Pandas para manipulação de dados e Matplotlib para a visualização gráfica dos resultados. O processo completo de

organização e análise foi realizado por meio de um notebook Python, que está anexado ao estudo. Este notebook inclui o código implementado para organizar, analisar e visualizar os dados coletados na revisão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta o fluxo de seleção da literatura utilizada para esta revisão. Inicialmente, foram identificados 527 estudos na base de dados IEEE Xplore utilizando as palavras-chave "*energy efficiency*" e "*Artificial Intelligence*". Após a remoção de duplicatas e a triagem inicial, restaram 489 estudos. Aplicando os critérios de inclusão e exclusão definidos na Tabela 1, o número de estudos foi reduzido para 98.

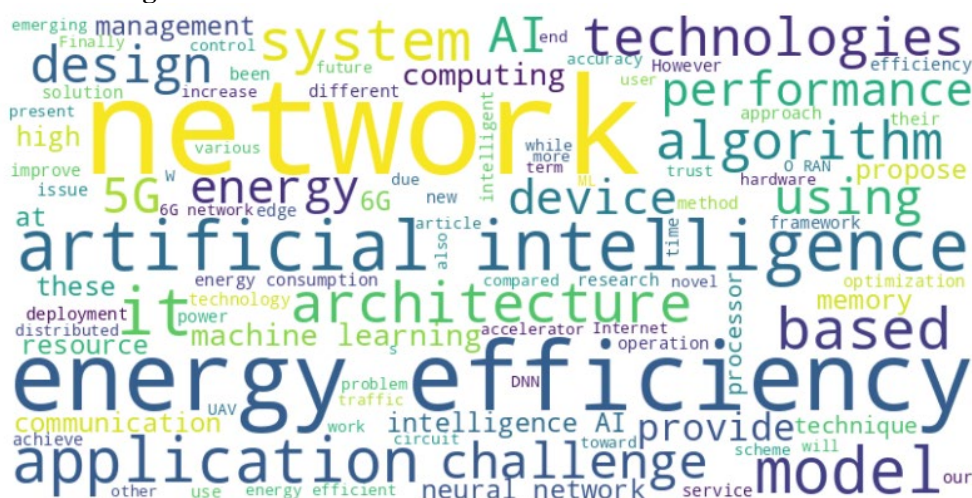
Figura 1: Fluxo de Revisão



Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

Foi realizada uma análise de frequência dos termos mais comuns nos resumos dos estudos selecionados. A Figura 2 exibe uma nuvem de palavras, destacando "*network*", "*energy*", "*efficiency*", "*intelligence*" e "*AI*". Esses termos refletem as principais áreas e tecnologias abordadas nas pesquisas revisadas.

Figura 2: Nuvem de Palavras dos Termos Mais Comuns.



Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

Os estudos foram categorizados em duas vertentes: principais técnicas de IA aplicadas e principais áreas de aplicação. A Tabela 2 resume as técnicas de IA mais frequentemente encontradas, enquanto a Tabela 3 apresenta as principais aplicações.

Tabela 2: Principais Técnicas de IA Aplicadas.

Técnica	Contagem de Estudos
<i>Machine Learning</i>	35
<i>Reinforcement Learning</i>	17
<i>Deep Learning</i>	10
<i>Neural Networks</i>	19
<i>Convolutional Neural Networks</i>	6
<i>Genetic Algorithm</i>	2
<i>Supervised Learning</i>	2
<i>Random Forest</i>	1
<i>Logic Fuzzy</i>	1
<i>Unsupervised Learning</i>	1

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

Tabela 3: Aplicações da IA na Eficiência Energética.

Aplicações	Contagem de Estudos
<i>energy demand forecasting</i>	33
<i>energy management</i>	30
<i>energy consumption</i>	23
<i>energy optimization</i>	2
<i>cyber-physical systems</i>	1
<i>Outras áreas de aplicações</i>	9

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

Os resultados da revisão indicam que as técnicas de IA, como ***Machine Learning*** e ***Reinforcement Learning***, têm sido amplamente utilizadas para otimizar a eficiência energética, principalmente em setores com infraestruturas tecnológicas mais desenvolvidas. Entre as aplicações mais comuns, destaca-se a previsão de demanda energética com 33 estudos, o que reflete a crescente importância em prever o consumo de energia e ajustar a oferta de forma mais eficiente. No entanto, a aplicação dessas técnicas em cidades emergentes enfrenta desafios específicos, como a integração de tecnologias de IA em infraestruturas menos desenvolvidas e a escassez de dados em tempo real. **Para que a IA possa ser aplicada de maneira mais eficaz nesses contextos, futuros trabalhos devem explorar a melhoria na coleta de dados em tempo real e o desenvolvimento de soluções adaptativas que atendam às limitações locais.**

Estudos como os de Weiwei et al. (2024) e Liu et al. (2024) demonstram a aplicação de técnicas de IA para prever padrões de consumo e adaptar a oferta de energia de maneira eficaz, proporcionando ganhos consideráveis em sustentabilidade. No entanto, esses estudos são amplamente baseados em contextos de infraestruturas energéticas mais avançadas, o que limita a generalização dos resultados para regiões emergentes. **Neste sentido, a integração de tecnologias adaptáveis, que possam operar com conectividade limitada e infraestrutura precária,** torna-se uma área promissora para pesquisas futuras. A coleta de dados em tempo real e a integração de fontes de energia renováveis ainda apresentam

desafios técnicos significativos nessas áreas, que precisam ser abordados para permitir o pleno potencial das técnicas de IA.

Além disso, a gestão de energia em diferentes setores, como edifícios e redes urbanas, figura entre as aplicações mais exploradas, com 30 estudos. **Embora as soluções de gestão de energia estejam bem estabelecidas em regiões com boa infraestrutura, futuras pesquisas devem considerar abordagens adaptáveis e resilientes** para regiões emergentes, que enfrentam desafios como conectividade deficiente e variabilidade na qualidade da eletricidade. **Soluções baseadas na combinação de IA e IoT (Internet das Coisas) podem ser cruciais para superar essas barreiras e permitir a automação em ambientes com infraestrutura energética limitada.**

Por fim, outras áreas de aplicação, como a otimização energética e sistemas ciberfísicos, têm apresentado progresso, mas enfrentam barreiras significativas para adoção em regiões emergentes. **Esses desafios oferecem oportunidades para o desenvolvimento de novas metodologias de IA, que levem em conta as limitações estruturais e econômicas** dessas áreas, garantindo que os benefícios da IA em eficiência energética sejam amplamente distribuídos.

CONCLUSÕES

A revisão sistemática realizada demonstrou o papel crucial da Inteligência Artificial (IA) na promoção da eficiência energética, com foco em técnicas como *Machine Learning* e *Reinforcement Learning*. Embora essas técnicas se mostrem eficazes em prever a demanda e otimizar o consumo de energia, a pesquisa também destacou os desafios que limitam sua aplicação em regiões emergentes. Cidades com infraestruturas menos desenvolvidas enfrentam barreiras na integração de tecnologias de IA devido à falta de dados em tempo real, desafios na coleta de informações e restrições econômicas.

A previsão de demanda energética foi a aplicação mais recorrente, com 33 estudos, mas a falta de dados precisos e atualizados em tempo real continua sendo um obstáculo para a implementação eficiente em cidades emergentes. **Futuras pesquisas devem focar no desenvolvimento de metodologias para melhorar a coleta de dados em tempo real**, o que poderia potencialmente aumentar a precisão das previsões e adaptar melhor as soluções de IA às condições locais.

A gestão de energia, com 30 estudos, também representa uma aplicação fundamental. No entanto, a implementação em áreas urbanas emergentes requer **sistemas de IA mais resilientes e adaptáveis**, capazes de operar em ambientes com conectividade limitada e variabilidade na qualidade da eletricidade. Além disso, **estudos regionais específicos** são necessários para compreender melhor as particularidades dessas regiões e criar soluções personalizadas que atendam às suas limitações econômicas e estruturais.

Por fim, a integração de sistemas IoT com IA pode desempenhar um papel fundamental na automação de processos, oferecendo soluções mais eficientes para regiões com infraestrutura energética limitada.

Em suma, a IA oferece grande potencial para otimizar a eficiência energética em escala global. No entanto, para que esse impacto seja sentido em regiões emergentes, é fundamental enfrentar os desafios técnicos e econômicos, bem como promover a adaptação de soluções tecnológicas às limitações locais. **O sucesso futuro da IA nesse campo dependerá da capacidade de superar essas barreiras, integrar novas tecnologias e adaptar soluções às condições regionais específicas.**

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Getúlio Teruo Tateoki e Vinicius de Souza Santos contribuíram com a concepção e escopo do estudo. Vinicius de Souza Santos procedeu com o desenvolvimento e escreveu o trabalho.

Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Institucional Voluntário de Iniciação Científica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (PIVICT).

REFERÊNCIAS

- Época Negócios. 2019. **O convite que criou o termo inteligência artificial.** <https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2019/03/leia-o-texto-do-convite-que-criou-o-termo-inteligencia-artificial.html>. acesso em: 22 julho 2024
- Godinho, Xavier Dinis Valeiro. 2020. **Previsão de consumos de energia associados à climatização em edifícios de serviços com base em estratégias de ML.** Tese de Doutoramento
- Goldemberg, José, Suani Teixeira Coelho & Patricia Guardabassi. 2018. **The Sustainability of ethanol production from sugarcane.** Em Renewable Energy, Vol3_321–Vol3_345. Routledge
- Liu, R.; Mirzadarani, R.; Luo, T.; Lyu, D.; Niasar, M. G.; Qin, Z. **A Data-Driven Model for Power Loss Estimation of Magnetic Materials Based on Multi-Objective Optimization and Transfer Learning.** IEEE Open Journal of Power Electronics, 2024.
- Machado, Douglas Mateus. 2024. **Inteligência artificial na indústria 4.0: conheça as aplicações.** <https://certi.org.br/blog/inteligencia-artificial-na-industria-conheca-as-aplicacoes/>. acesso em: 22 julho 2024
- Salam, Abdulwahed & Abdelaaziz El Hibaoui. 2018. **Comparison of machine learning algorithms for the power consumption prediction:-case study of tetouan city–.** Em 2018 6th International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), 1–5. IEEE
- Wang, J.; Memon, S.; Siraj, M.; Altamimi, M.; Mirza, M. A. **Toward Energy-Efficiency: Integrating Drl And Ze-Ris For Task Offloading In Uav-Mec Environments.** Ieee Access, 2024.
- Weiwei, H.; Wenlei, Y.; Junjie, X. **Based On Bisenetv2 For Semantic Slam In Dynamic Scenes.** Ieee Access, 2024.
- Zogaan, Waleed Abdu. 2022. **Power Consumption Prediction Using Random Forest Model.** Int. J. Mech. Eng 7. 329–341