



CAPACITAÇÃO DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA NA INDÚSTRIA 4.0: APLICAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO CONTROLE DE GERADORES SOLARES PARA SATÉLITES

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.5157

Autores: THALES LESSA RODRIGUES, ITALO PINTO RODRIGUES

Resumo: Este artigo justifica-se pela necessidade de adequar a formação de estudantes de engenharia às demandas da Indústria 4.0, que exige conhecimento avançado em Inteligência Artificial (IA) e seu uso em tecnologias emergentes, como a otimização de geradores solares para satélites. O problema abordado é a defasagem dos currículos de engenharia, que não acompanham a rápida evolução tecnológica e as exigências do mercado de trabalho moderno. Para resolver esse problema, o estudo propõe a implementação de um Projeto de Iniciação Científica (PIC) que utiliza metodologias ativas de ensino, integrando IA no controle de sistemas de Rastreamento do Ponto de Máxima Potência (MPPT) para satélites. A metodologia inclui levantamento bibliográfico, benchmarking de modelos de MPPT, e experimentos com algoritmos de IA, visando proporcionar aos estudantes uma formação prática e atualizada. Espera-se que os resultados dessa pesquisa não apenas melhorem a eficiência dos sistemas energéticos de satélites, mas também preparem os estudantes de engenharia para enfrentar os desafios tecnológicos da Indústria 4.0, promovendo a inclusão de tecnologias avançadas no contexto acadêmico.

Palavras-chave: Rastreo de Máxima Potência, Inteligência Artificial, Teoria de Controle, Aprendizagem Baseada em Projeto, Indústria 4.0

CAPACITAÇÃO DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA NA INDÚSTRIA 4.0: APLICAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO CONTROLE DE GERADORES SOLARES PARA SATÉLITES

1 INTRODUÇÃO

Satélites artificiais são objetos de criação humana, lançados ao espaço para cumprir uma missão específica. A concepção e lançamento desses satélites são empreendimentos complexos, demandando significativos recursos humanos e financeiros, e um extenso período de desenvolvimento (LEMMASSI et al., 2024).

O fornecimento de energia elétrica para veículos espaciais é um dos requisitos primordiais devido à diversidade de cargas presentes nos satélites. Uma falha no sistema de suprimento de energia pode resultar na perda do veículo, e é notável que muitas das primeiras missões espaciais fracassaram devido a esse motivo. A adoção da energia solar, através de células fotovoltaicas, só se concretizou em uma missão bem-sucedida no ano de 1958. Desde então, houve uma demanda crescente por potência elétrica, com a necessidade de manter tensão e corrente estabilizadas dentro de limites cada vez mais rigorosos, especialmente em veículos espaciais de complexidade crescente. Este cenário impulsionou avanços significativos em todas as áreas da eletrônica empregadas nesses sistemas, bem como o uso de técnicas de controle para atender às especificações exigidas (MAGALHÃES, 2005).

O MPPT é uma técnica crucial para otimizar a eficiência dos painéis solares em satélites, maximizando a geração de energia solar em condições variáveis do espaço (Kwan & Wu, 2017; Yang et al., 2023).

A exploração do uso de Inteligência Artificial (IA) no rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT) em satélites é fundamentada em uma série de estudos e pesquisas recentes. A integração da IA no MPPT de satélites representa um avanço significativo impulsionado pela evolução dos conceitos relacionados à Indústria 4.0.

Todavia, a formação do futuro profissional é essencial para que seja possível viabilizar constantes inovações no mercado de trabalho, sobretudo àquelas associadas a campos recentes do desenvolvimento, como a inteligência artificial.

Se por um lado a demanda por profissionais com conhecimentos em IA tende a aumentar (MAKRIDIS; MISHRA, 2022), os currículos de engenharia não conseguem acompanhar tais mudanças.

Sendo assim, o objetivo principal deste trabalho é evidenciar como a pesquisa científica associada às metodologias ativas de ensino pode ser um vetor de capacitação de estudantes de engenharia a desenvolverem conhecimentos sobre tecnologias da indústria 4.0, tais como IA e suas aplicações. Para isso, será relatada a experiência de um projeto de iniciação científica em otimização de geradores solares para satélites artificiais, a ser conduzido no Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA). Esta pesquisa pode ser vista, também, como uma oportunidade para promover a inclusão do estudo de tecnologias espaciais em um contexto acadêmico antes focado em outra área de estudo específica, promovendo diversidade no campo científico.

2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Segundo aponta Mian et al. (2020), as faculdades têm enfrentado obstáculos para acompanhar os avanços tecnológicos rápidos que estão remodelando o cenário industrial. O desafio fundamental reside na natureza desatualizada de muitos currículos

universitários, estabelecidos em princípios anteriores à revolução atual. Essa falta de alinhamento impede que as instituições de ensino equipem os alunos com as habilidades necessárias exigidas pela Indústria 4.0. Além disso, a escassez de funcionários especializados proficientes nas últimas tecnologias complica ainda mais o processo educacional. A falta de colaboração, financiamento limitado e falta de parcerias com as indústrias também dificultam que as universidades acompanhem os desenvolvimentos de ponta.

Ademais, funcionários e alunos se preocupam em relação à segurança no emprego e à substituição tecnológica, o que exige uma abordagem com medidas proativas como solução. A ausência de programas de treinamento dedicados focados na Indústria 4.0 agrava a lacuna de habilidades e dificulta a preparação eficaz das pessoas para a quarta revolução industrial. Para superar esses desafios e reduzir a lacuna entre academia e indústria, as universidades devem reformular seus currículos, investir na capacitação de funcionários especializados, promover colaborações com a indústria e alocar recursos para apoiar a integração de novas tecnologias. Ao se adaptar ao cenário tecnológico em evolução, as instituições educacionais podem preparar melhor a força de trabalho para as demandas da Indústria 4.0 (MIAN et al., 2020).

3 APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS

Como destacado por Biggs e Tang (2022) e Gomez-del Rio e Rodriguez (2022), as técnicas de ensino universitário evoluem à medida que os educadores se esforçam para alcançar simultaneamente dois objetivos-chave: aprendizagem de alta qualidade e ensino mais eficaz. Historicamente, a educação em engenharia favorecia uma abordagem centrada no professor. No entanto, esse modelo tradicional está sendo atualizado com métodos destinados a aprimorar a aquisição de conhecimento por meio da participação ativa dos alunos no processo de ensino-aprendizagem. Nesse modelo, uma maior motivação dos alunos pode ser alcançada utilizando vários métodos de aprendizagem, como Aprendizagem Baseada em Projetos, Aprendizagem Baseada em Problemas, gamificação, sala de aula invertida, ensino baseado em casos, aprendizagem por descoberta, ensino sob demanda, entre outros.

A aprendizagem baseada em projetos (PjBL), metodologia a qual a iniciação científica tratada neste estudo se enquadra, torna o aprendizado mais profundo e com maior compreensão dos conceitos teóricos. Isso se através da aplicação destes conceitos em problemas reais, em vez de apenas memorizar e aplicar os conhecimentos em problemas clássicos de sala de aula. (GOMEZ-DEL RIO; RODRIGUEZ, 2022)

4 METODOLOGIA

O Projeto de Iniciação Científica (PIC) descrito neste artigo tem como objetivo principal desenvolver um modelo de Rastreamento do Ponto de Máxima Potência (MPPT) para satélites artificiais, utilizando técnicas de inteligência artificial para assegurar um fornecimento energético eficiente. Os objetivos secundários, detalhados na Tabela 1, são componentes essenciais para a consecução do objetivo principal. Cabe destacar que a realização integral dos objetivos secundários implica no cumprimento exitoso do objetivo principal da pesquisa.

Tabela 1 – Objetivos secundários do PIC.

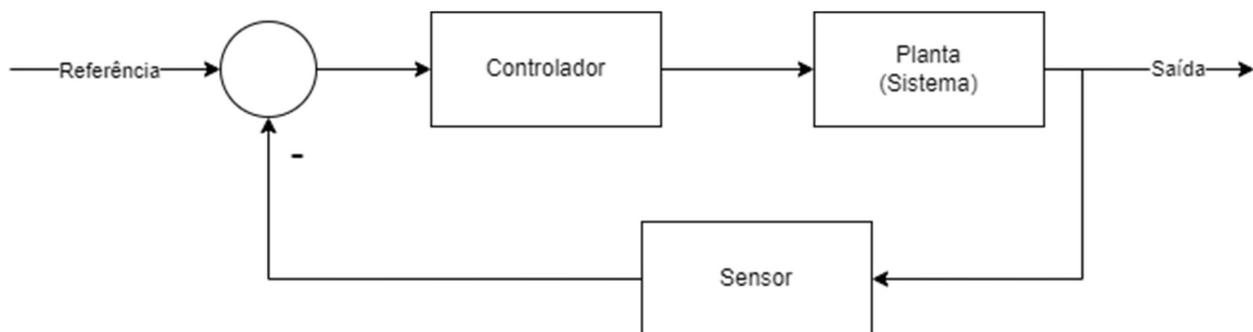
Item	Descrição
1	Realizar levantamento bibliográfico para compreensão do estado da arte no que diz respeito a Modelagem, simulação e Controle de um sistema de rastreamento de potência máxima (MPPT) para geradores solares de satélites artificiais;
2	Realizar um benchmark entre os modelos de MPPT;
3	Estabelecer um modelo de MPPT para ser simulado e controlado;
4	Realizar o levantamento dos algoritmos de inteligência artificial que podem ser utilizados para controle;
5	Realizar experimentos com os algoritmos definidos em (4) para verificar o desempenho dos algoritmos frente controle;
6	Comparar os resultados da pesquisa com a literatura disponível.

Para alcançar todos os objetivos de pesquisa delineados, propõe-se a metodologia apresentada na Tabela 2. A coluna "Objetivos" dessa tabela especifica quais objetivos são atendidos em cada etapa da metodologia.

Tabela 2 – Metodologia a ser seguida.

Etapa da Metodologia	Objetivos atendidos
Atualização das referências bibliográficas. Essa atualização é fundamental para que o estudante possa aprofundar seu conhecimento no tema, explorando o estado atual da prática e da arte em controle de sistemas apoiado por IA, com foco especial nos MPPT para satélites.	1
A modelagem é uma etapa crucial neste projeto, como ilustrado na Figura 1, pois envolve a criação do modelo do sistema a ser controlado. Neste contexto, o modelo (planta) refere-se ao sistema de rastreamento de máxima potência. Diversos modelos podem ser considerados, sendo essencial selecionar ao menos um deles para que o controle possa ser proposto de maneira adequada.	2, 3
Em seguida, o controle base em IA pode ser proposto, testado e validado.	4, 5 e 6

Figura 1 – Diagrama genérico de um sistema em malhada fechada.



O PIC possui tem duração de um ano, com a possibilidade de renovação. De modo que o PIC, e conseqüentemente, a pesquisa, sejam realizados, adota-se uma metodologia ágil de gerenciamento, com uso do software Jira. Esta abordagem foi estruturada em cinco marcos principais, sendo eles:

- *Documentação: esta fase teve como objetivo propor o projeto de iniciação científica e organizar o fluxo de trabalho para as etapas subsequentes.*
- *Revisão bibliográfica: durante esta etapa, espera-se que seja realizada uma revisão detalhada da literatura relacionada ao tema de pesquisa, identificando lacunas de conhecimento e tendências emergentes.*
- *Desenvolvimento: nesta etapa, dar-se-á início à modelagem do MPPT e à investigação da substituição do controle convencional por métodos baseados em inteligência artificial.*
- *Produção de artigos científicos: elaboração e submissão de artigos científicos como resultado das pesquisas realizadas.*
- *Emissão de relatórios: por fim, será feita a produção e entrega de relatórios detalhados à instituição de ensino responsável pelo acompanhamento do trabalho.*

O projeto está na fase de revisão bibliográfica. Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica através de publicações disponíveis em plataformas renomadas, como Science Direct, IEEE Xplore e Google Scholar. O foco principal foi em estudos relacionados ao subsistema de suprimento de energia de satélites e à aplicação de inteligência artificial na otimização de geradores solares.

O emprego dessa metodologia ágil permitirá a identificação de algoritmos de IA potencialmente aplicáveis ao controle de MPPT, como redes neurais, algoritmos genéticos ou aprendizado por reforço garantindo. Ao implementar e simular cada um desses algoritmos, será possível medir seus desempenhos em termos de eficiência, estabilidade e robustez, possibilitando avaliar qual deles é o mais adequado para o contexto do sistema de suprimento de energia em satélites.

Além disso, com o levantamento dos algoritmos será possível direcionar o treinamento do estudante no desenvolvimento de habilidades em IA para aplicações na área de MPPT.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Rigo et al. (2023) evidenciam a eficácia da rede neural ReLU, em conjunto com o framework de otimização de hiperparâmetros, para a previsão precisa da geração de energia fotovoltaica (PV). Este modelo demonstrou um equilíbrio notável entre precisão e eficiência computacional, sendo vital para o aprimoramento contínuo dos modelos de satélites nanométricos. A implementação dessas metodologias em missões reais de nanossatélites revelou benefícios significativos do uso do MPPT em comparação com abordagens de tensão constante, resultando em maiores entradas de energia e períodos de operação prolongados (RIGO et al., 2021).

Porras-Hermoso (2021) contribui com modelos para diferentes componentes dos subsistemas de distribuição de energia de espaçonaves, enfatizando a importância de modelos precisos para a simulação de painéis solares e conversores DC/DC. Kumar (2021) apresenta um controlador PI robusto e adaptativo para o MPPT em sistemas fotovoltaicos, destacando a necessidade de controladores eficientes e adaptáveis para otimizar o desempenho dos sistemas de energia solar em satélites.

A pesquisa de Kwan e Wu (2023) sobre um algoritmo adaptativo baseado em fator de escala para o MPPT em diferentes níveis de irradiação solar no espaço exterior ressalta a importância de algoritmos adaptativos para lidar com as dinâmicas variáveis do ambiente espacial. Yang et al. (2023) fornecem uma revisão abrangente das técnicas de MPPT para sistemas híbridos PV-TEG, destacando a relevância de abordagens inovadoras de MPPT em condições de sombreamento parcial.

A formação de futuros engenheiros com conhecimento em IA para resolver problemas de engenharia pode ser significativamente aprimorada pela integração de algoritmos de IA para MPPT, como os discutidos por Rigo et al. (2023), Porras-Hermoso (2021), Kumar (2021), Kwan e Wu (2017) e Yang et al. (2023). No entanto, os currículos de engenharia muitas vezes não acompanham essa demanda crescente de atualização tecnológica. Assim, os PICs podem servir como vetores essenciais na capacitação dos estudantes para o mercado de trabalho, especialmente em áreas relacionadas à modelagem, simulação e inteligência artificial, proporcionando-lhes experiências práticas e conhecimentos avançados que são fundamentais para o desenvolvimento de soluções inovadoras na engenharia.

6 CONCLUSÃO

Os resultados preliminares deste estudo foram fundamentais para orientar e estabelecer métricas no desenvolvimento de um projeto de iniciação científica em nível de graduação. Foi possível realizar um breve levantamento bibliográfico indicando o estado da arte em MPPT para satélites. A pesquisa bibliográfica também permitiu identificar algoritmos de IA potencialmente aplicáveis ao controle de MPPT.

Portanto, fica evidente que esta pesquisa científica pode ser crucial na formação de novos engenheiros, integrando conhecimentos de Inteligência Artificial à otimização de geradores solares, e capacitando os estudantes para atender às demandas emergentes da Indústria 4.0.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem: o Centro Universitário de Volta Redonda pelo apoio institucional e financeiro para realizar esta pesquisa. I.P. Rodrigues também agradece à CAPES pelo apoio financeiro (Processo No. 88882.444522/2019-01) durante o doutorado.

REFERÊNCIAS

BIGGS, John; TANG, Catherine; KENNEDY, Gregor. **Teaching for quality learning at university 5e**. McGraw-hill education (UK), 2022.

GOMEZ-DEL RIO, T.; RODRÍGUEZ, Jesús. Design and assessment of a project-based learning in a laboratory for integrating knowledge and improving engineering design skills. **Education for Chemical Engineers**, v. 40, p. 17-28, 2022.

KUMAR, Vineet et al. An adaptive robust fuzzy PI controller for maximum power point tracking of photovoltaic system. **Optik**, v. 259, p. 168942, 2022.

KWAN, Trevor Hocksun; WU, Xiaofeng. An adaptive scale factor based MPPT algorithm for changing solar irradiation levels in outer space. **Acta Astronautica**, v. 132, p. 33-42, 2017.

LEMMASSI, Assiya et al. Low-cost MPPT for triple-junction solar cells used in nanosatellites: A comparative study between P&O and INC algorithms. **e-Prime-Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy**, v. 7, p. 100426, 2024.

MAGALHÃES, R. O. **Modelagem, simulação e validação experimental de um sistema de rastreamento de potência máxima para geradores solares de satélites artificiais**. 2005. 92 p. IBI: <6qtX3pFwXQZGivnJSY/HSJEj>. (INPE-14491-TDI/1172). Dissertação (Mestrado em Mecânica Espacial e Controle) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2005. Disponível em: <<http://urlib.net/ibi/6qtX3pFwXQZGivnJSY/HSJEj>>.

MAGALHÃES, R. O. **Estudo de avalanche térmica em um sistema de carga e descarga de bateria em satélites artificiais**. 2012. 171 p. IBI: <8JMKD3MGP7W/3B7FP2H>. (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/01.16.14.31-TDI). Tese (Doutorado em Mecânica Espacial e Controle) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012. Disponível em: <<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP7W/3B7FP2H>>.

MAKRIDIS, C. A.; MISHRA, S. Artificial Intelligence as a Service, Economic Growth, and Well-Being. **Journal of Service Research**, 25(4), 505–520, 2022. <https://doi.org/10.1177/10946705221120218>

MIAN, Syed Hammad et al. Adapting universities for sustainability education in industry 4.0: Channel of challenges and opportunities. **Sustainability**, v. 12, n. 15, p. 6100, 2020.

PORRAS-HERMOSO, Angel et al. Simple solar panels/battery modeling for spacecraft power distribution systems. **Acta Astronautica**, v. 179, p. 345-358, 2021.

RIGO, Cezar Antônio et al. MPPT aware task scheduling for nanosatellites using MIP-based ReLU proxy models. **Expert Systems with Applications**, v. 234, p. 121022, 2023.

YANG, Bo et al. State-of-the-art review of MPPT techniques for hybrid PV-TEG systems: Modeling, methodologies, and perspectives. **Global Energy Interconnection**, v. 6, n. 5, p. 567-591, 2023.

TRAINING ENGINEERING STUDENTS IN INDUSTRY 4.0: APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE CONTROL OF SOLAR GENERATORS FOR SATELLITES

Abstract: This article is justified by the need to adapt the training of engineering students to the demands of Industry 4.0, which requires advanced knowledge in Artificial Intelligence (AI) and its application in emerging technologies, such as the optimization of solar generators for satellites. The problem addressed is the outdated engineering curricula that do not keep pace with the rapid technological evolution and the requirements of the modern job market. To solve this problem, the study proposes the implementation of a Scientific Initiation Project (SIP) that uses active teaching methodologies, integrating AI in the control of Maximum Power Point Tracking (MPPT) systems for satellites. The methodology includes a literature review, benchmarking of MPPT models, and experiments with AI algorithms, aiming to provide students with practical and up-to-date training. It is expected that the results of this research will not only improve the efficiency of satellite energy systems but also prepare engineering students to face the technological

challenges of Industry 4.0, promoting the inclusion of advanced technologies in the academic context.

Keywords: *Maximum Power Point Tracking, Artificial Intelligence, Control Theory, Project Based Learning, Industry 4.0.*

