



Energia Solar Espacial: uma revolução tecnológica para a sustentabilidade energética global.

Maria Eduarda Breve da Rocha¹ / Francisco Javier Tipán Salazar ¹/ Sergio Tenorio dos Santos Neto ^{1,2}

¹ Faculdade de Tecnologia de Guaratinguetá (eduardabreveduda@gmail.com) / ² Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá (UNESP)

CONTEXTUALIZAÇÃO: Em busca de fontes de energia que sejam limpas, renováveis e capazes de atender a uma grande demanda tem mobilizado pesquisadores ao redor do mundo. Todos buscam alternativas que consigam suprir o crescimento constante do consumo energético global, sem causar danos ao meio ambiente (Matushkin; Bosak, 2025; Kang *et al.*, 2024). Nesse cenário, a Energia Solar Espacial, conhecida como Space-Based Solar Power (SBSP), surge como uma das inovações tecnológicas mais promissoras do século XXI (Atzori; Zaccaria; Garoli, 2025). Esta tecnologia combina avanços na engenharia aeroespacial, na transmissão de energia sem fio e na sustentabilidade planetária, apontando para um futuro energético inovador e mais sustentável (Camarillo Abad *et al.*, 2025; Shagun; Anwer, 2024). A literatura científica sobre energia solar espacial mostra uma evolução clara ao longo do tempo, desde os primeiros conceitos, elaborados na segunda metade do século XX, até os projetos mais recentes que buscam viabilizar, economicamente e tecnicamente, a operação de satélites solares em órbita geoestacionária.

OBJETIVO: Este estudo tem como objetivo analisar a evolução da produção científica sobre a energia solar espacial, por meio de uma revisão sistemática da literatura combinada a uma análise bibliométrica, abrangendo publicações indexadas na base de dados Scopus.



MÉTODO: Foram pesquisados na base Scopus artigos e revisões no idioma inglês, sem restrição de período, utilizando os termos “space solar power”, “space-based solar power”, “solar power satellites” e “space solar stations” no campo título das publicações. A busca resultou em 260 trabalhos. Para uma análise teórica aprofundada, foram selecionados os 20 artigos mais citados e os 20 mais recentes para uma leitura criteriosa, dos quais foram extraídos os trabalhos mais relevantes conforme sua aderência ao tema estudado.

RESULTADOS E DISCUSSÕES: A ideia de captar energia solar no espaço e transmiti-la para a Terra foi inicialmente proposta por Peter Glaser (1992), que já reconhecia o potencial do sistema Solar Power Satellite (SPS) para o fornecimento contínuo e em larga escala de energia, além de discutir aspectos ambientais e legais. Nas décadas seguintes, estudos da NASA e do Departamento de Energia dos EUA consolidaram as bases técnicas do conceito, com destaque para os trabalhos de McSpadden e Mankins (2002) e Mankins (1997, 1999), que demonstraram a viabilidade da transmissão por micro-ondas (WPT) e propuseram arquiteturas modulares como o SunTower. O Japão teve papel importante nesse avanço, com contribuições de Matsumoto (2002) e Sasaki, Tanaka e Maki (2013), que impulsionaram o desenvolvimento das tecnologias de feixes e controle. Modelos como o Tethered-SPS de Sasaki *et al.* (2006) e o estudo Fresh Look ampliaram a compreensão econômica e tecnológica do SPS. Posteriormente, Yang *et al.* (2015) e Cheng *et al.* (2016) apresentaram inovações ópticas, estruturais e o uso de robôs espaciais para montagem automatizada. Avanços em controle orbital e eficiência de transmissão foram discutidos por Wie e Roithmayr (2005), Mori, Kagawa e Saito (2006) e Jaffe e McSpadden (2013), enquanto estudos de Li *et al.* (2017), Yang, Hou e Wang (2017) e Wang *et al.* (2014) exploraram metamateriais e controle térmico. Mais recentemente, pesquisas ampliaram a aplicação da Space-Based Solar Power (SBSP) para uso orbital e extraterrestre. Atzori, Zaccaria e Garoli (2025) e Acker *et al.* (2025) discutem constelações em órbita geoestacionária e geração lunar, enquanto Che, Liu e He (2025) analisam impactos na descarbonização da matriz europeia. Wu *et al.* (2016, 2025), Ji *et al.* (2025) e Han *et al.* (2025) destacam avanços em estabilidade e controle, e Mizrahi *et*



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

al. (2025), Sadeghi, Morandi e Yazdani-Asrami (2024) e Yu *et al.* (2025) enfatizam ganhos em eficiência com supercondutores e modelos térmicos. Inovações como o sistema ASTRAL (Camarillo Abad *et al.*, 2025) e satélites leves de Ambatali e Nakasuka (2024) consolidam o estado da arte. As discussões atuais incluem aspectos jurídicos e econômicos (Shagun e Anwer, 2024; Barry, 2024; Kang *et al.*, 2024; Matushkin e Bosak, 2025), revelando que a SBSP está deixando o campo conceitual para se tornar uma realidade tecnológica. Essa evolução indica um amadurecimento técnico e institucional contínuo, posicionando a energia solar espacial como uma alternativa promissora para a sustentabilidade e descarbonização global.

CONSIDERAÇÕES FINAIS: As evidências reunidas neste trabalho demonstram que a Energia Solar Espacial (SBSP) evoluiu de um conceito visionário, proposto por Glaser (1992), para uma tecnologia com bases científicas e aplicabilidade crescente. Os avanços em transmissão sem fio, controle orbital, materiais avançados e sistemas modulares consolidam a viabilidade técnica, enquanto estudos recentes ampliam seu potencial para aplicações lunares e apoio à descarbonização terrestre. Além dos progressos tecnológicos, emergem discussões relevantes sobre aspectos jurídicos, econômicos e de governança global, reforçando a necessidade de cooperação internacional para o uso sustentável do espaço. A literatura indica que a SBSP caminha para se tornar um componente estratégico da matriz energética do futuro, integrando ciência, inovação e sustentabilidade. Assim, mais do que uma alternativa, a energia solar espacial representa um novo paradigma para a segurança e autonomia energética da humanidade.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Solar Espacial, Transmissão Sem Fio, Sustentabilidade Energética.

REFERÊNCIAS:

ACKER, Denis *et al.* **The ZEUS constellation – paving the way to sustainability on the Moon with Solar Power Satellites.** In: *International Astronautical Congress – IAC-24*, C3,4,11,x87582, 2025.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

AMBATALI, Charleston Dale; NAKASUKA, Shinichi. **Microwave wireless power transfer efficiency analysis framework for a thin film space solar power satellite.** 2024.

ATZORI, M.; ZACCARIA, A.; GAROLI, D.; ROMANO, M. **Orbital capacity and maximum energy output of a space-based solar power constellation in Geosynchronous Earth Orbit.** 2025.

BARRY, Kevin. **2023 State of the Industry Report on Investment and Development of Space Solar Power.** 2024.

CAMARILLO ABAD, M.; WANG, T.; ZHAO, K.; LI, D. **ASTRAL: A lightweight and radiation-tolerant solar photovoltaic system for orbital energy generation.** 2025.

CASH, D. **CASSIOPeiA: A modular constant-density architecture for space-based solar power.** 2019.

CHE, X.; LIU, P.; HE, J. **Economic and environmental impacts of space-based solar power on Europe's decarbonization pathways.** 2025.

CHEN, Yang; WU, Jiayu; FAN, Ziyao; LU, Wanze. **Convex set reliability-based optimal attitude control for space solar power station with bounded and correlated uncertainties.** 2025.

CHENG, J.; WANG, L.; ZHOU, F. **Automated orbital assembly and maintenance for large-scale space solar power stations.** 2016.

GLASER, Peter. **Solar Power Satellites: Future energy sources beyond Earth.** 1992.

HAN, Q.; ZHOU, R.; LIU, Z.; WANG, J. **Dynamic coupling analysis and control of large flexible structures in space solar power satellites.** 2025.

HOU, Xinyue *et al.* **High-Precision Bi-Directional Beam-Pointing Measurement Method Based on Space Solar Power Station System.** 2024.

JAFFE, P.; MCSPADDEN, J. **The current state of space solar power technology and research.** 2013.

JL, H.; FAN, L.; GUO, X. **Dynamic modeling and adaptive control for deployable structures in space-based solar power systems.** 2025.

KANG, Hyuna *et al.* **Harnessing sunlight beyond Earth: Sustainable vision of space-based solar power systems in smart grid.** 2024.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

LI, M.; ZHOU, Y.; GUO, H. **Enhanced optical efficiency of solar concentrators using ϵ -near-zero metamaterials for space applications.** 2017.

LI, Xintong *et al.* **Distributed power conditioning unit of large-scale space solar power station.** 2024.

LIN, J. **Safety standards and biological effects of wireless power transmission for solar power satellites.** 2001.

LIU, Kunpeng *et al.* **Modular Flat Structure with Miura Origami for Space Solar Power Station.** 2025.

MANKINS, John C. **A Fresh Look at Space Solar Power: New architectures, concepts and analyses.** 1997.

MANKINS, John C. **The SunTower concept: A modular approach to space solar power.** 1999.

MATSUMOTO, H. **Research and development of solar power satellites in Japan.** 2002.

MATUSHKIN, D.; BOSAK, A. **Space-Based Solar Power: Science Fiction or a Near-Future Reality.** 2025.

MCSPADDEN, J.; MANKINS, J. **Space solar power: Research, technology and applications.** 2002.

MIZRAHI, L. *et al.* **Scalable design of integrated high-efficiency space solar power systems.** 2025.

MORI, M.; KAGAWA, M.; SAITO, S. **JAXA's roadmap for space solar power development.** 2006.

SADEGHI, A.; MORANDI, A.; YAZDANI-ASRAMI, M. **High-temperature superconducting cables for efficient energy transmission in space power systems.** 2024.

SASAKI, S.; TANAKA, K.; MAKI, K. **Technological roadmap for microwave power transmission and its application to SPS.** 2013.

SASAKI, S.; KASHIWAGI, Y.; AKITA, D. **Tethered Solar Power Satellite Concept and System Analysis.** 2006.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

SHAGUN, Shrawani; ANWER, Naqui. **Space-Based Solar Power: Legal Frameworks and Sustainable Development Perspectives.** 2024.

WANG, H.; LIN, X.; ZHANG, F.; LI, P. **Metamaterial rectifying surfaces for microwave energy harvesting in space-based solar power.** 2014.

WIE, B.; ROITHMAYR, C. **Attitude control and stability of large space structures for solar power satellites.** 2005.

WU, L.; ZHAO, M.; LI, C. **LQR-based robust control strategies for large-scale space solar power satellites.** 2016.

WU, X.; CAO, H.; LI, T. **Near-Sun-pointing attitude optimization for space-based solar power systems.** 2025.

YANG, D.; HOU, T.; CHANG, Q. **Thermal management optimization in space solar power satellites.** 2021.

YANG, J.; ZHANG, F.; ZHOU, X. **Optical and structural design of the SSPS-OMEGA concept.** 2015.

YU, Hao *et al.* **Design and Optimization of Stacked High Temperature Superconductor Cable System for Space Solar Power Station.** 2025.

ZHANG, L.; HU, R.; WEI, C. **Adaptive orbit maintenance algorithms for long-duration solar power satellites.** 2025.

ZHANG, Y.; LI, X.; CHEN, G. **Power conversion efficiency modeling for orbital solar arrays in space solar power stations.** 2024.

ZHU, H.; WANG, J.; LI, P. **Hybrid orbit optimization for efficient deployment of space solar power satellites.** 2025.