



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1/2023

**RENATO REBOUÇAS DE MEDEIROS, Cap Eng**

**Aeronaves Baseadas em Energia Solar: uma Realidade e uma Oportunidade**

Rio de Janeiro  
2023

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1/2023

**RENATO REBOUÇAS DE MEDEIROS**, Cap Eng

**Aeronaves Baseadas em Energia Solar**: uma Realidade e uma Oportunidade

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-graduação *Lato sensu* em Liderança com Ênfase em Gestão no COMAER.

Linha de Pesquisa: Emprego das Forças Armadas

Orientador: Pedro Nolasco Duarte, Maj Av

Rio de Janeiro

2023

**RENATO REBOUÇAS DE MEDEIROS, Cap Eng**

**Aeronaves Baseadas em Energia Solar: uma Realidade e uma Oportunidade**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da  
Aeronáutica.

Aprovado por:

---

**Pedro Nolasco** Duarte, Maj Av  
EAOAR

---

**Allison** Nunes Fernandes, Cap Eng  
EAOAR

Rio de Janeiro

2023

## RESUMO

Voos de aeronaves remotamente pilotadas com duração superior a um mês já são uma realidade. Isso é possível devido ao avanço da tecnologia de células fotovoltaicas e baterias, o que impulsionou as aeronaves solares nos últimos anos. No entanto, essa inovação é liderada por poucas empresas na Europa, nos Estados Unidos e na China. Para garantir uma utilização plena e soberana desses vetores, as forças armadas precisam participar do desenvolvimento nos próximos anos. Neste ensaio, defende-se que o investimento em aeronaves solares potencializa as capacidades das forças armadas, se realizado oportunamente. De fato, o caráter multidisciplinar das aeronaves solares indica que os sucessos promovidos no seu desenvolvimento impactam diversos outros Produtos de Defesa que são de interesse para as forças armadas. Além disso, há necessidades de vigilância, sobretudo na região amazônica, que podem ser supridas por esses vetores, atuando em complementação aos satélites já existentes, gerando imagens em tempo real de eventos como queimadas e desmatamentos. Com o incentivo adequado, o projeto nacional de aeronave a energia solar pode ser concretizado em poucos anos, permitindo ao Brasil assumir a liderança regional em mais um setor e aumentando a capacidade das forças armadas de apoiar a população civil.

**Palavras-chave:** Aeronave Solar. Vigilância. Reconhecimento. Indústria Nacional. Multidisciplinaridade.

## 1 INTRODUÇÃO

Com o recente desenvolvimento de baterias e painéis solares, o voo perpétuo começou a ganhar forma. Em 15 de junho de 2022, a aeronave Zephyr 8 desenvolvida pela Airbus Defence & Space decolou para um voo de demonstração ao exército americano que durou 64 dias. Apesar da falha ao final da missão, ficou evidente que o manejo da energia solar hoje é suficiente para permitir a operação contínua de aeronaves remotamente pilotadas.

A história da indústria aeronáutica mostra que o pioneirismo traz vantagem competitiva, a exemplo do que a Embraer conseguiu ao oferecer no mercado o Bandeirante, preenchendo uma necessidade e tomando a liderança no seu nicho de atuação. Da mesma maneira, a chegada de uma nova tecnologia como as aeronaves a energia solar tende a beneficiar os primeiros participantes, seja do ponto de vista econômico ou político-militar. É esperado que nos próximos anos os drones movidos a energia solar entrem em operação efetiva, provendo imagens em tempo real de regiões de interesse e serviços de telecomunicações. Porém, como o conjunto de projetos em desenvolvimento é restrito, as vantagens operacionais e comerciais advindas dessa inovação naturalmente devem se concentrar na Europa, nos Estados Unidos e na China, onde os projetos atuais estão baseados.

Dadas as peculiaridades dessas aeronaves, é provável que os vetores sejam inicialmente comercializados junto com o serviço de operação assistida pelos fabricantes, o que dificulta a aplicação soberana pelas nações compradoras e aumenta os custos. Entretanto, o Brasil tem um contexto industrial e acadêmico diferenciado na América Latina, propiciando condições para um desenvolvimento nacional em tempo de garantir a operação plena dessas aeronaves, frente à grande necessidade de vigilância do território nacional.

Neste ensaio, defende-se que o investimento em aeronaves baseadas em energia solar potencializa as capacidades das forças armadas, se executado nos próximos anos.

De fato, a gama de disciplinas envolvidas no projeto de aeronaves solares permite que as tecnologias associadas sejam aplicadas a diferentes Produtos de Defesa. A Base Industrial de Defesa (BID) pode utilizar a capacitação e os equipamentos provenientes do desenvolvimento de aeronaves solares em outros produtos inovadores que suportam as forças armadas, como veículos hipersônicos e

nanossatélites. Assim, um investimento nessa área estratégica promove a Capacidade de Desenvolvimento Tecnológico de Defesa na indústria nacional e na academia, o que traz benefício direto para as forças armadas.

Outro fator a ser considerado são as necessidades de vigilância de toda a região territorial e da zona marítima nacionais. Como se trata de uma grande área, convém ao país investir em meios eficientes, interoperáveis e que complementem a atuação dos recursos já em operação. Nesse contexto, as aeronaves a energia solar são uma excelente opção porque executam missões similares às dos satélites, com custos significativamente menores e com a possibilidade de permanecer sobre uma mesma área por longos períodos. Assim, sua introdução incrementa consideravelmente a capacidade operacional de inteligência, vigilância e reconhecimento, aproveitando a infraestrutura montada na última década para operações espaciais.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

Tendo a responsabilidade de defender uma área de mais de 12 milhões de quilômetros quadrados, a FAB atua em sinergia com os demais forças, aprimorando-se e incrementando seus vetores através de projetos estratégicos. No Plano Estratégico Militar da Aeronáutica 2018-2027 (BRASIL, 2018b), um dos projetos listados é o de uma aeronave remotamente pilotada de reconhecimento (ARP-REC). Esse destaque evidencia a busca da Superioridade de Informações discutida na sua Concepção Estratégica Força Aérea 100. De fato, produzir informações no momento oportuno proporciona “segurança e liberdade de ação às operações militares” (BRASIL, 2018a, p. 30).

Nesse contexto, convém identificar tecnologias emergentes na atividade de reconhecimento que podem propiciar vantagem competitiva às forças armadas no contexto regional. No atual cenário, uma dessas tecnologias é a de pseudo-satélites, que são aeronaves de grande altitude e grande autonomia capazes de atuar à semelhança de satélites. Para essas aeronaves, a energia solar é a fonte primária de potência, e a estrutura é particularmente leve, com asa de grande alongamento, reduzindo o arrasto e oferecendo área para a instalação de células solares.

Atualmente, destacam-se no cenário internacional as plataformas de grande altitude Zephyr 8 (Airbus, Reino Unido), Qimingxing-50 (Aviation Industry Corp,

China), e Hawk30 (AeroVironment, Estados Unidos). Há diversos outros projetos em desenvolvimento, como o Odysseus da companhia Aurora Flight Sciences, mas os três citados são os mais avançados em termos de testes. Em particular, a aeronave Zephyr 8 está muito próxima do emprego comercial efetivo.

Na América Latina, nenhum projeto chama a atenção, apesar das grandes necessidades de vigilância, sobretudo na região amazônica. Com o desenvolvimento de uma infraestrutura de operações espaciais e a aquisição de satélites de comunicações e sensoriamento na última década, as aeronaves solares emergem como possibilidade de complementação da capacidade de vigilância e reconhecimento atual.

## **2.1 Ampliação da Capacidade de Desenvolvimento Tecnológico de Defesa**

Um dos pilares das capacidades das forças armadas é a sua base de conhecimento, materializada na academia, na indústria e nas Instituições Científico-Tecnológicas (ICTs). Nas palavras do comandante da aeronáutica, “apoiar-nos-emos no princípio da tripla hélice, congregando as ICTs do COMAER, além de outras ICT pelo Brasil, as organizações e fundações de fomento e a nossa Base Industrial de Defesa ...” (BRASIL, 2023a, p. 23). Essa estratégia faz sentido, ao se observar que os equipamentos geradores do Poder Militar têm origem em novas tecnologias (WEISS, 2018).

Quando se trata do desenvolvimento de tecnologias, percebe-se que projetos multidisciplinares como as aeronaves a energia solar são particularmente vantajosos para a Capacidade de Desenvolvimento Tecnológico de Defesa porque têm implicações em diferentes áreas. De fato, um dos mecanismos reconhecidos de inovação militar é a difusão através de setores. Para que um Estado desenvolva os equipamentos do Poder Militar, geralmente é necessário que existam necessidades e capacidades. Essas últimas podem ser adquiridas através de transferências de tecnológicas provenientes de outras nações ou através de aproveitamento de progressos de setores correlatos, que é a difusão, comentada por Weiss (2018). Esse processo pode beneficiar pequenas empresas, inclusive, que são mais ágeis para fazer essa translação de tecnologias bem-sucedidas (HAZIK, 2008).

No caso específico das aeronaves solares, há um conjunto de tecnologias críticas que devem ser dominadas, como sistemas propulsivos elétricos, baterias,

projeto aerodinâmico, otimização estrutural, análises aeroelásticas não-lineares e sistemas de controle (ZHU, GUO e HOU, 2014). Assim, os atores envolvidos no projeto de uma aeronave solar precisam desenvolver técnicas e instalar equipamentos que são valiosos para outras aplicações no próprio setor de defesa, devido à integração de competências de diferentes áreas que é requerida.

Exemplos interessantes de como a multidisciplinaridade permite uma interação sinérgica entre os diferentes desenvolvimentos de defesa podem ser encontrados tanto na academia quanto na indústria. Grupos de pesquisa que se dedicam a análises dinâmicas de aeronaves com grande alongamento como as solares ocasionalmente também publicam na área de simulações de veículos hipersônicos, devido à similaridade da aeroelasticidade não-linear nos dois campos. Podem ser mencionados os trabalhos de Teixeira e Cesnik (2019) e Kitson e Cesnik (2019), por exemplo, que são publicações provenientes do mesmo grupo de pesquisa, com esses dois enfoques. Já na indústria, observa-se que as companhias também aproveitam os recursos e técnicas para diferentes projetos. A CENIC Engenharia, por exemplo, desenvolve motores para o programa aeroespacial brasileiro e utilizou sua experiência com estruturas de material composto para fabricar com elevado padrão de qualidade o X-HALE, protótipo de aeronave flexível utilizado para pesquisas desenvolvidas no ITA (GUIMARÃES NETO, 2021). Essas são ilustrações pontuais, mas existem muitas outras áreas de estudo e técnicas em que há grande intersecção entre as aeronaves solares e diferentes Produtos de Defesa.

Portanto, dado o caráter multidisciplinar das aeronaves a energia solar, o investimento governamental pode fomentar sucessos não só nesse desenvolvimento específico, como também em outros produtos de interesse. Através de equipamentos militares inovadores, as forças armadas têm suas capacidades ampliadas, de forma geral.

## **2.2 Incremento da Capacidade Operacional com a Introdução de Aeronaves Solares**

As aplicações de aeronaves a energia solar são inúmeras, tanto no meio civil como no militar. As mais discutidas são relativas a inteligência, vigilância e reconhecimento, com utilização de câmeras de alta resolução, radares e lasers; bem como comunicações, provendo conectividade para grandes áreas. A partir dessas

tarefas básicas, podem ser detalhadas ações de vigilância de fronteiras, combate a desmatamento, monitoramento de queimadas, iluminação de alvos, análise de danos após desastres ambientais e provimento de rede de comunicações no caso de falha de satélites (ZHU, GUO e HOU, 2014). Os benefícios não se restringiriam à força aérea, podendo-se utilizar a interoperabilidade para tirar o máximo proveito dos vetores.

Além de demonstrar grande capacidade de atuação dentro das fronteiras nacionais, as aeronaves baseadas em energia solar também podem contribuir para a projeção do Poder Aeroespacial. Aumentando as capacidades nas ações de inteligência e reconhecimento aeroespacial, tais vetores apoiam a “manutenção da tradicional posição de liderança do Poder Aeroespacial do país no continente” (BRASIL, 2020, p. 31), principalmente ao se considerar que o Brasil tem um contexto acadêmico e industrial único na América Latina, a respeito desse tema.

Um fator que realça a oportunidade da utilização de aeronaves solares de grande altitude é a sua atuação complementar à dos satélites que já estão em operação (ZHU, GUO e HOU, 2014). Enquanto os satélites SAR recém-adquiridos da empresa ICEYE podem fornecer imagens de maneira intermitente, apontando um foco de desmatamento, por exemplo, uma aeronave solar pode ser desdobrada para a região de interesse selecionada e acompanhar o evento em tempo real. Para o envio das imagens capturadas pela aeronave solar, pode ser utilizada a estrutura de comunicações suportada pelo satélite geoestacionário SGDC. Dessa maneira, há um real incremento da capacidade de monitoramento, aproveitando a observação em tempo real oferecida pelo drone solar, que pode sobrevoar a região analisada a cerca de 20 km de altitude por longos períodos.

Finalmente, os custos das aeronaves solares são reduzidos em relação aos de satélites que desempenham funções semelhantes (LEUTENEGGER, JABAS e SIEGWART, 2011). Não há o custo do lançamento satelital, por exemplo, e há menos requisitos ambientais de vibrações. Outra grande vantagem em relação aos satélites é a flexibilidade, tanto de trajetória quanto de carga útil. É possível atualizar a carga útil de uma aeronave solar e utilizá-la para diferentes missões, conforme a necessidade. Dessa forma, uma vez superada a fase de desenvolvimento inicial e prototipagem, que envolve maior incerteza, é esperado que o custo-benefício da operação de aeronaves solares seja compensador para as forças armadas, aumentando sua eficiência operacional.

### 3 CONCLUSÃO

Diante da emergente tecnologia de aeronaves movidas a energia solar, há uma oportunidade que pode ser aproveitada pelas forças armadas nacionais. Nesse momento em que a inovação está prestes a entrar em operação efetiva, cabe observar o contexto regional, a condição interna e as demandas operacionais das forças armadas.

Para um país que está desenvolvendo equipamentos militares em diferentes áreas, o investimento em projetos multidisciplinares como as aeronaves solares tem grande impacto. De fato, os progressos obtidos nas diversas disciplinas necessárias para sua concretização podem ser traduzidos em avanços para outros Produtos de Defesa correlatos, como veículos hipersônicos.

Operando em grandes altitudes por longos períodos, os drones solares têm a capacidade de prover imagens em tempo real e comunicações, servindo a grandes áreas de maneira persistente. Sua introdução complementaria as capacidades atuais de inteligência, vigilância e reconhecimento a custos menores que os de satélites, contribuindo para manter a hegemonia alcançada pelo Poder Aéreo no contexto regional.

Dessa maneira, o investimento em aeronaves baseadas em energia solar amplia as capacidades das forças armadas, ao se considerar o impacto sobre outros Produtos de Defesa e as demandas operacionais a que esses vetores atendem no contexto atual.

Uma vez estabelecida uma política de incentivo a projetos de aeronaves a energia solar, há alta chance de concretização em poucos anos de desenvolvimento, devido aos avanços já realizados em áreas correlatas. Assim, o Brasil pode assumir mais uma liderança no contexto do Poder Aeroespacial regional. Além disso, o desenvolvimento bem-sucedido de aeronaves solares dá suporte a outros projetos que tenham tecnologias associadas, como os de veículos hipersônicos e nanossatélites, ampliando o efeito do investimento requerido. Ao mesmo tempo, com a entrada em operação dos drones solares, o país reafirma o seu compromisso com a proteção da Amazônia e o apoio à população civil, já que os veículos podem atuar de maneira persistente no combate ao desmatamento e no suporte às ações governamentais em desastres naturais.

## REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Portaria EMAER nº 1.597/GC3, de 10 de outubro de 2018. Aprova a edição da “Concepção Estratégica - Força Aérea 100”. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 180, 15 out. 2018. Disponível em: [https://www.fab.mil.br/Download/arquivos/DCA%2011-45\\_Concepcao\\_Estrategica\\_Forca\\_Aerea\\_100.pdf](https://www.fab.mil.br/Download/arquivos/DCA%2011-45_Concepcao_Estrategica_Forca_Aerea_100.pdf). Acesso em: 07 mar. 2023.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Portaria EMAER nº 2.102/GC3, de 18 de novembro de 2018. Aprova a edição do Plano Estratégico Militar da Aeronáutica. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 222, 20 dez. 2018. Disponível em: <https://www.fab.mil.br/Download/arquivos/pemaer.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2023.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Portaria EMAER nº 1.224/GC3, de 10 de novembro de 2020. Aprova a edição da “Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira - Volume 1”. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 205, 12 nov. 2020.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. **Diretriz do Comandante da Aeronáutica**. 2023.
- BRASIL. Nanossatélites movimentam o Programa Espacial Brasileiro. **Agência Espacial Brasileira**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/aeb/pt-br/assuntos/noticias/nanossatelites-movimentam-o-programa-espacial-brasileiro>. Acesso em: 08 mar. 2023.
- GUIMARÃES NETO, Antonio Bernardo *et al.* Flexible Aircraft Simulation Validation with Flight Test Data. **AIAA Journal**, vol. 61, n. 1, p. 285-304, 2021.
- HASIK, James. **Arms and Innovation: Entrepreneurship and Alliances in the Twenty-First Century Defense Industry**. Chicago: The University of Chicago Press, 2008.
- KITSON, Ryan, CESNIK, Carlos Eduardo Stolf. Fluid-Structure-Jet Interaction Effects on High-Speed Vehicle Performance and Stability. **AIAA Journal**, vol. 56, n. 2, p. 586-595, 2019.
- LEUTENEGGER, Stefan, JABAS, Mathieu, SIEGWART, Roland Y. Solar Airplane Conceptual Design and Performance Estimation. **Journal of Intelligent & Robotic Systems**, vol. 61, p. 545-561, 2011.
- TEIXEIRA, Patrícia Capistrano, CESNIK, Carlos Eduardo Stolf. Propeller Effects on the Response of High-Altitude Long-Endurance Aircraft. **AIAA Journal**, vol. 57, n. 10, p. 4328-4342, 2019.
- WEISS, Moritz. How to become a first mover? Mechanisms of military innovation and the development of drones. **European Journal of International Security**, vol. 3, n. 2, p. 187-210, 2018.

ZHU, Xiongfeng, GUO, Zheng, HOU, Zhongxi. Solar-powered airplanes: A historical perspective and future challenges. **Progress in Aerospace Sciences**, n. 71, p. 36-53, 2014.