



DATA CENTERS EM ÓRBITA: VANTAGENS ENERGÉTICAS E HÍDRICAS DA INFRAESTRUTURA DIGITAL ESPACIAL FRENTE À EXPANSÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Fabiana Ferreira Silva¹, André Inácio do Carmo², Washington Ferreira Silva³

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Recife-PE, Brasil, fabiana.ferreirasilva@ufrpe.br

²Agência Espacial Brasileira - AEB, Brasília-DF, Brasil

³Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Rio Tinto-PB, Brasil

Resumo: Este estudo analisa a viabilidade e as vantagens energéticas e hídricas dos data centers orbitais frente à expansão da inteligência artificial. Trata-se de uma pesquisa qualitativa, exploratória, bibliográfica, documental e estudo de caso. Os resultados indicam que a infraestrutura digital espacial apresenta potencial para reduzir o consumo de água e ampliar a eficiência energética. Contudo, ainda enfrenta limitações ligadas à dissipação térmica, aos custos de lançamento e à escala operacional.

Palavras-chave: Data centers orbitais; inteligência artificial; consumo de energia; pegada hídrica; infraestrutura digital espacial.

INTRODUÇÃO

A expansão acelerada da inteligência artificial (IA) impôs pressão inédita sobre a infraestrutura digital terrestre. Os data centers (instalações repletas de computadores que armazenam e processam os dados da internet e dos sistemas de IA) consumiram cerca de 415 TWh de eletricidade em 2024, o equivalente a aproximadamente 1,5% do consumo elétrico mundial, com projeção de ultrapassar 945 TWh em 2030, tendo a IA como principal vetor desse crescimento (IEA, 2025). Para dimensionar, um terawatt-hora (TWh) corresponde ao consumo anual de centenas de milhares de residências. Nos Estados Unidos, projeta-se que o setor responderá por até 12% da demanda elétrica nacional já em 2028, tornando imperativa a busca por alternativas à infraestrutura terrestre (GAO, 2026). A pressão hídrica é igualmente expressiva: o treinamento do modelo GPT-3 evaporou diretamente cerca de 700 mil litros de água doce, usada para resfriar os computadores, e a demanda global de IA poderá responder por 4,2 a 6,6 bilhões de metros cúbicos de retirada de água em 2027 (Li et al., 2023).

Nesse cenário, consolida-se o conceito de infraestrutura digital espacial: data centers em órbita alimentados por energia solar quase contínua, refrigerados por radiação térmica ao vácuo e sem consumo de água (GAO, 2026).

A viabilidade científica do conceito foi reforçada pela publicação de estudo independente, em periódico revisado por pares, dedicado ao desenvolvimento de data centers de emissão neutra de carbono no espaço (Aili et al., 2025), e a transição à prática avançou rapidamente: o estudo europeu ASCEND confirmou a viabilidade técnica e econômica da solução (Thales

Alenia Space, 2024; ESA, 2024); a empresa Starcloud colocou em órbita, em novembro de 2025, a primeira unidade de processamento gráfico de classe data center, conhecida pela sigla GPU (processador especializado em executar milhares de cálculos simultâneos, peça central dos sistemas de IA) (NVIDIA, 2025); e o Google anunciou o Project Suncatcher, com protótipos previstos até o início de 2027 (CNBC, 2025).

O objetivo geral deste trabalho foi analisar a viabilidade e as vantagens energéticas e hídricas dos data centers orbitais frente à expansão da IA. Como objetivos específicos, buscou-se: a) quantificar a pressão da IA sobre energia e água; b) examinar os fundamentos físicos e as iniciativas em curso; c) identificar os principais desafios e as implicações para o setor espacial, inclusive para o Brasil. Diante disso, formulou-se a seguinte questão de pesquisa: as vantagens energéticas e hídricas atribuídas aos data centers orbitais resistem ao exame dos fundamentos físicos e do estado real das iniciativas? A contribuição do trabalho está em reunir, em linguagem acessível, a quantificação da demanda, a análise física de primeira ordem e o exame crítico das iniciativas mais avançadas, separando o que é fato demonstrado do que é estimativa das empresas interessadas.

MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa classifica-se como exploratória, descritiva, bibliográfica e estudo de caso, elegendo-se como unidade de análise o conceito de data center orbital, examinado por meio de três iniciativas selecionadas por representarem, cada uma, um estágio distinto do ciclo de maturação tecnológica: o estudo de viabilidade



ASCEND, a demonstração em órbita Starcloud-1 e o programa exploratório Project Suncatcher. Os dados foram coletados observando os seguintes aspectos:

- **Demanda energética e hídrica da IA:** projeções setoriais da Agência Internacional de Energia (IEA, 2025) e do Government Accountability Office, órgão de auditoria do Congresso dos Estados Unidos (GAO, 2026), e estimativas de pegada hídrica de artigo revisado por pares (Li et al., 2023);

- **Iniciativas e viabilidade:** comunicados institucionais (Thales Alenia Space, 2024; ESA, 2024; NVIDIA, 2025), cobertura especializada (CNBC, 2025) e estudo publicado na revista Nature Electronics (Aili et al., 2025);

- **Premissas físicas:** constante solar $S = 1.361 \text{ W/m}^2$ (intensidade da luz do Sol que chega ao topo da atmosfera, medida em watts por metro quadrado); eficiência fotovoltaica $\eta = 0,30$, isto é, 30% da luz convertida em eletricidade, valor típico das células solares de tripla junção usadas em satélites; emissividade do radiador $\varepsilon = 0,9$ (capacidade de uma superfície de emitir calor, numa escala de 0 a 1); e temperatura do radiador $T = 300 \text{ K}$, cerca de 27°C na escala Kelvin, com rejeição de calor por uma única face emissora.

Como em órbita não existe ar nem água para resfriar os equipamentos, todo o calor precisa ser eliminado por radiação, e toda a energia precisa vir do Sol. Por isso, o balanço entre a eletricidade gerada pelos painéis e o calor que os radiadores conseguem despachar para o espaço é o teste físico decisivo do conceito. No que se refere a esse cálculo, foram considerados estes fatores:

1. Geração de energia. A primeira pergunta é quanta eletricidade cada metro quadrado de painel solar produz em órbita heliossíncrona crepuscular (tipo de órbita em que o satélite acompanha a linha que separa o dia da noite e, por isso, permanece iluminado pelo Sol quase o tempo todo). A potência elétrica P , em watts, é o produto da eficiência do painel (η) pela intensidade da luz solar (S):

$$P = \eta \cdot S = 0,30 \times 1.361 \approx 408 \text{ W/m}^2 \quad (\text{Eq. 1})$$

2. Rejeição de calor. A segunda pergunta é quanto calor cada metro quadrado de radiador consegue lançar ao espaço. Esse fluxo q , também em watts por metro quadrado, é dado pela lei de Stefan-Boltzmann, segundo a qual o calor irradiado cresce com a quarta potência da temperatura T da superfície, multiplicada pela emissividade ε e pela constante física $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$:

$$q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 = 0,9 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 300^4 \approx 413 \text{ W/m}^2 \quad (\text{Eq. 2})$$

3. Escala. Dividindo a potência alvo pelas duas grandezas anteriores, obtém-se a área de painéis e de radiadores necessária para um data center orbital de 1 gigawatt (GW, um bilhão de watts, a escala almejada pelo ASCEND): cerca de $10^9/408 \approx 2,5 \text{ km}^2$ de painéis solares e $10^9/413 \approx 2,4 \text{ km}^2$ de radiadores.

A análise dos resultados confrontou esses números com as alegações das iniciativas, distinguindo dados verificados de estimativas corporativas. Reconhece-se como limitação o caráter documental da pesquisa e o fato de parte das fontes ser produzida pelas próprias organizações interessadas, razão pela qual as alegações de desempenho foram explicitamente atribuídas às suas origens. Esses procedimentos metodológicos foram seguidos para alcançar os objetivos do trabalho, cujos resultados são apresentados na seção subsequente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As três iniciativas analisadas percorrem, em sequência, o ciclo completo de maturação tecnológica.

No estágio de estudo, o ASCEND, concluído em junho de 2024 por consórcio europeu coordenado pela Thales Alenia Space, com Airbus, Hewlett Packard Enterprise, ArianeGroup e o centro aeroespacial alemão DLR, confirmou a viabilidade técnica e econômica do conceito, projetou retornos de vários bilhões de euros até 2050 e fixou a meta de 1 GW de capacidade em órbita antes de 2050, com missão de demonstração prevista para 2026; o estudo destaca a eliminação do resfriamento a água e condiciona o benefício climático ao uso de foguetes lançadores de baixa pegada de carbono (Thales Alenia Space, 2024; ESA, 2024).

No estágio de demonstração, o Starcloud-1, satélite de apenas 60 kg lançado em 2 de novembro de 2025 para uma órbita de cerca de 325 km de altitude, embarcou uma GPU NVIDIA H100 e, em dezembro de 2025, executou o modelo Gemma e treinou um modelo de linguagem do tipo nanoGPT, no primeiro treinamento de um LLM (sigla em inglês para modelo de linguagem de grande porte, a tecnologia por trás de assistentes como o ChatGPT) realizado em órbita, usando o vácuo do espaço como destino final do calor gerado (NVIDIA, 2025; CNBC, 2025).

No estágio de escala, o Project Suncatcher, do Google, investiga constelações compactas de satélites equipados com TPUs (chips de IA desenvolvidos pela própria empresa) interligados por enlaces ópticos (comunicação por feixes de laser entre satélites), com dois protótipos previstos até o início de 2027 (CNBC, 2025).



A equação (1) explica a primeira vantagem do ambiente orbital. Os cerca de 408 W contínuos por metro quadrado de painel não encontram equivalente em solo, onde a atmosfera absorve parte da luz, a noite interrompe a geração e as nuvens a reduzem; é essa diferença que fundamenta a estimativa, divulgada pela própria *Google* e ainda pendente de verificação independente, de que um painel em órbita adequada pode ser até oito vezes mais produtivo que em terra (CNBC, 2025).

Somam-se a isso o resfriamento passivo por irradiação ao vácuo, a eliminação do consumo de água e a dispensa de uso de solo (GAO, 2026), atributos críticos frente à pegada hídrica da IA quantificada por Li et al. (2023).

O estudo independente de Aili et al. (2025) corrobora academicamente esse potencial ao concluir que a combinação de energia solar abundante com o frio profundo do espaço pode viabilizar data centers de emissão neutra de carbono.

A equação (2), por sua vez, expõe o principal gargalo de engenharia e, ao mesmo tempo, a principal alavanca de projeto. Pelo fator 3 do método, dissipar 1 GW a 300 K exige cerca de 2,4 km² de radiadores, somados a cerca de 2,5 km² de painéis solares, estruturas equivalentes a centenas de campos de futebol que precisariam ser lançadas em partes e montadas roboticamente em órbita.

Como o calor irradiado cresce com a quarta potência da temperatura, operar os radiadores mais quentes reduz drasticamente a área: a 350 K (77 °C), a mesma equação fornece $q \approx 766 \text{ W/m}^2$, e a área necessária cai para cerca de 1,3 km². Há, porém, um compromisso: processadores funcionam melhor e duram mais em temperaturas baixas, de modo que o projetista precisa equilibrar radiadores menores e mais quentes com a confiabilidade da eletrônica, dilema central identificado também por Aili et al. (2025).

O exame crítico revela ainda incertezas que as fontes promocionais tendem a minimizar: a degradação da eletrônica comercial sob radiação ionizante (partículas energéticas do espaço que danificam os circuitos) pode encurtar a vida útil dos equipamentos e impor ciclos de substituição caros; a impossibilidade prática de manutenção física converte qualquer falha em perda; a latência (o atraso na comunicação entre o satélite e o solo) e a banda disponível limitam as aplicações; o custo e a cadência de lançamento para escalas de gigawatts permanecem incertos; e a multiplicação de grandes estruturas agrava o problema dos detritos espaciais (fragmentos de satélites e foguetes que permanecem em órbita e ameaçam outras missões), exigindo planos rigorosos de descarte em fim de vida.

Além disso, o balanço climático favorável calculado pelo ASCEND é condicional: depende de lançadores de baixa pegada de carbono que ainda não operam comercialmente (ESA, 2024).

Para o Brasil, o tema abre duas frentes de interesse. A primeira é o processamento em órbita de dados de observação da Terra, que reduz o volume de transmissões ao solo e acelera a resposta operacional em aplicações como o monitoramento de desastres (GAO, 2026; UN-SPIDER, 2025), área em que o país possui ativos consolidados, como os satélites da série CBERS e o Amazônia-1.

A segunda é a inserção da indústria nacional em nichos da cadeia produtiva, como estruturas, controle térmico e integração de pequenos satélites, segmentos compatíveis com a maturidade já demonstrada pelo setor espacial brasileiro.

CONCLUSÃO

Os data centers orbitais transitaram, em menos de dois anos, de estudos de viabilidade para demonstrações reais em órbita. As vantagens energéticas e hídricas são fisicamente fundamentadas, como mostraram as equações (1) e (2): energia solar quase contínua de cerca de 408 W/m² e refrigeração radiativa sem consumo de água, atributo crítico frente à pegada hídrica crescente da IA.

A escalada a gigawatts, porém, depende de avanços na rejeição térmica de grandes potências, na tolerância à radiação, na redução do custo de lançamento e na mitigação de detritos, e parte das alegações de desempenho ainda provém das próprias empresas interessadas.

Como agenda futura, recomenda-se acompanhar os resultados da missão de demonstração do ASCEND e dos protótipos do Suncatcher, verificar de forma independente o fator de produtividade dos painéis em órbita e avaliar o ciclo de vida completo, incluindo fabricação e lançamentos, na comparação ambiental com os data centers terrestres.

Assim, com o apoio de políticas públicas e investimentos estratégicos, os data centers orbitais podem se tornar um exemplo de sucesso na transição para uma infraestrutura digital sustentável na era da inteligência artificial.

REFERÊNCIAS

AILI, Ablimit et al. The development of carbon-neutral data centres in space. **Nature Electronics**, v. 8, n. 11, p. 1016-1026, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41928-025-01476-1>. Acesso em: 2 jun. 2026.



CNBC. **Nvidia-backed Starcloud trains first AI model in space, signaling new era for orbital data centers.** Englewood Cliffs: CNBC, 10 dez. 2025.

Disponível em:

<https://www.cnn.com/2025/12/10/nvidia-backed-starcloud-trains-first-ai-model-in-space-orbital-data-centers.html>. Acesso em: 5 abr. 2026.

EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). **ASCEND — Advanced Space Cloud for European Net Zero Emissions and Data Sovereignty: Feasibility Study.** Thales Alenia Space (coord.). Paris: ESA, jun. 2024. Disponível em:

<https://leodatacenters.com/>. Acesso em: 11 abr. 2026.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Energy and AI.** Paris: IEA, 2025. Disponível em:

<https://www.iea.org/reports/energy-and-ai>. Acesso em: 8 abr. 2026.

LI, Pengfei; YANG, Jianyi; ISLAM, Mohammad A.; REN, Shaolei. Making AI less “thirsty”: uncovering and addressing the secret water footprint of AI models. **arXiv**, arXiv:2304.03271, 2023. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2304.03271>. Acesso em: 10 maio 2026.

NVIDIA. **How Starcloud is bringing data centers to outer space.** Santa Clara: NVIDIA Blog, 2025.

Disponível em:

<https://blogs.nvidia.com/blog/starcloud/>. Acesso em: 6 maio 2026.

THALES ALENIA SPACE. **Thales Alenia Space reveals results of ASCEND feasibility study on space data centers.** Cannes: Thales Alenia Space, 27 jun. 2024. Disponível em:

<https://www.thalesaleniaspace.com/en/press-releases/thales-alenia-space-reveals-results-ascend-feasibility-study-space-data-centers-0>. Acesso em: 3 jun. 2026.

UNITED STATES GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE (GAO). **Science & Tech Spotlight: Data Centers in Space.** GAO-26-109012. Washington: GAO, abr. 2026. Disponível em: <https://www.gao.gov/products/gao-26-109012>. Acesso em: 7 jun. 2026.

UN-SPIDER. **AI-Enabled Onboard Edge Computing for Satellite Intelligence in Disaster Management.** Vienna: UNOOSA, nov. 2025. Disponível em: <https://un-spider.org/news-and-events/news/ai-enabled-onboard-edge-computing-satellite-intelligence-disaster-management%C2%A0>. Acesso em: 30 abr. 2026.