

# O DESAFIO DOS SEMICONDUTORES: O BRASIL DIANTE DE TAIWAN E HOLANDA

*Uma análise estratégica sobre a complexa cadeia global de semicondutores, os gargalos tecnológicos da ASML e TSMC, e o caminho para o Brasil alcançar autonomia tecnológica até 2050 através de recursos naturais, energia nuclear, inteligência artificial e a formação maciça de capital humano especializado.*

**Carlos A. Klomfahs\***



*Imagem meramente ilustrativa, gerada por inteligência artificial.*

## INTRODUÇÃO

A indústria de semicondutores é o motor da era digital, impulsionando avanços em inteligência artificial, computação quântica, comunicação 5G e uma vasta gama de tecnologias que moldam o futuro. A produção desses componentes, no entanto, é um dos empreendimentos tecnológicos mais complexos e intensivos em capital do mundo.

O presente artigo explora a intrincada cadeia de valor dos semicondutores, os desafios tecnológicos e geopolíticos inerentes à sua fabricação, e as lições estratégicas que o Brasil pode extrair para buscar a autonomia tecnológica no horizonte de 2050.

**Pergunta de Pesquisa:** Quais são os principais desafios técnicos, científicos e industriais na produção de semicondutores de ponta, para alcançar a autonomia tecnológica até 2050, considerando seus recursos naturais, capacidades de pesquisa e desenvolvimento, e o cenário geopolítico global?

**Importância do Tema:** A autonomia tecnológica em semicondutores é uma questão de segurança nacional e soberania econômica, bem como a dependência de um número limitado de fornecedores globais expõe países a riscos geopolíticos, interrupções na cadeia de suprimentos e limitações no desenvolvimento de tecnologias estratégicas.

Para o Brasil, compreender e enfrentar a complexidade da produção de semicondutores é crucial para garantir sua participação na economia digital do futuro, proteger seus interesses estratégicos e fomentar a inovação local, reduzindo a vulnerabilidade a choques externos e promovendo um desenvolvimento sustentável e inclusivo.

A metodologia adotada para este estudo é multicritério, visando analisar os diversos fatores que influenciam a busca pela autonomia tecnológica em semicondutores.

Serão considerados critérios técnicos (engenharia de projetos, materiais, nanotecnologia), econômicos (investimento, mercado, cadeia de suprimentos), geopolíticos (acesso a tecnologias, patentes, minérios estratégicos) e ambientais (fornecimento de energia, sustentabilidade).

A abordagem multicritério permitirá ponderar a interdependência desses fatores e identificar as estratégias mais promissoras para o Brasil, utilizando ferramentas como a análise de decisão multicritério (*Multi-Criteria Decision-Making*, MCDM) para avaliar alternativas e priorizar ações.

## 1. HISTÓRIA DOS SEMICONDUTORES: UMA TRAJETÓRIA DE INOVAÇÃO E COMPLEXIDADE

Uma grande quantidade de países<sup>1</sup> vem, nos últimos anos, buscando autonomia na área tecnológica. Porém, vem encontrando diversos óbices e desafios, que vão desde os minérios até o parque industrial, robótica, inteligência artificial, computação quântica, fornecimento constante de energia via mini-reatores nucleares SMR, mão-de-obra qualificada etc.

1 **ANDRADE, Rodrigo.** “Países se articulam para diminuir dependência das cadeias globais de suprimento de chips.” IPEA, 28 de abril de 2023. <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/348-paises-se-articulam-para-diminuir-dependencia-das-cadeias-de-suprimento-globais-de-semicondutores>.

Na história dos semicondutores, os principais minerais e elementos usados na produção de semicondutores e *microchips*, que formam a base da eletrônica moderna, são:

**Silício (Si):** É o material mais utilizado, representando a base da imensa maioria dos semicondutores. É refinado a partir de areia (sílica/quartzo) com altíssima pureza.

**Gálio (Ga):** Utilizado principalmente na forma de arseneto de gálio (GaAs) ou nitreto de gálio (GaN) para componentes de alta frequência e velocidade, como LEDs e carregadores rápidos.

**Germânio (Ge):** Frequentemente utilizado em semicondutores de alta velocidade e sensores infravermelhos.

**Arsênio (As):** Combinado com o gálio (Arseneto de Gálio, GaAs) é empregado na produção de semicondutores compostos.

**Índio (In):** Na fabricação de semicondutores compostos e telas de alta resolução.

Além da base de semicondutores, outros materiais são fundamentais no processo de fabricação (encapsulamento, conexões, condutividade):

**Cobre (Cu):** Essencial para as trilhas de conexão que conduzem eletricidade nos *chips*.

**Ouro (Au) e Prata (Ag):** Utilizados em conectores e contatos elétricos de alta condutividade e resistência à corrosão.

**Estanho (Sn):** Utilizado nas soldas dos componentes.

**Tântalo (Ta):** Aplicado em capacitores de alto desempenho.

**Terras Raras (como Neodímio, Lantânio):** Usadas em ímãs e componentes de precisão.



*Principais minerais e elementos estratégicos empregados na fabricação de semicondutores e suas respectivas aplicações tecnológicas. O Brasil detém reservas significativas de Nióbio e Terras Raras, conferindo-lhe posição estratégica na cadeia global*

Já a história dos semicondutores é uma saga de inovação contínua, desde a invenção do transistor em 1947, por John Bardeen, Walter Brattain e William Shockley em 23 de dezembro de 1947, nos Laboratórios Bell (Bell Labs) nos Estados Unidos.

Eles receberam o Prêmio Nobel de Física em 1956 por essa invenção, que substituiu as válvulas eletrônicas e permitiu a revolução da eletrônica moderna e a miniaturização dos computadores até os microprocessadores de bilhões de transistores da atualidade. Cada nova geração de *chips* exige avanços exponenciais em materiais, processos de fabricação e design.

A Lei de Moore, que prevê a duplicação do número de transistores em um *chip* a cada dois anos, tem impulsionado essa evolução, mas também tem levado a desafios cada vez maiores em termos de física e engenharia.

## 2. O PAPEL DOMINANTE DA TSMC E ASML

Duas empresas se destacam como pilares da indústria de semicondutores de ponta: a Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC)<sup>2</sup> e a ASML Holding N.V.<sup>3</sup> da Holanda.

- **ASML:** É a única fornecedora mundial de máquinas de litografia de ultravioleta extremo (*extreme ultraviolet*, EUV), tecnologia essencial para a produção de *chips* com nós de processo de 7 nm e menores. A ASML detém um vasto portfólio de patentes relacionadas à litografia, óptica e fotônica, com mais de 38.000 ativos em 32 jurisdições. A complexidade e o custo dessas máquinas são imensos, tornando a ASML um gargalo estratégico na cadeia de suprimentos global de semicondutores.
- **TSMC:** É a maior fundição de semicondutores dedicada do mundo, com aproximadamente 70% de participação de mercado em 2025. A TSMC é responsável pela fabricação dos *chips* mais avançados para empresas como Apple, Qualcomm e Nvidia, utilizando tecnologias de processo de ponta como 5 nm e 3 nm.

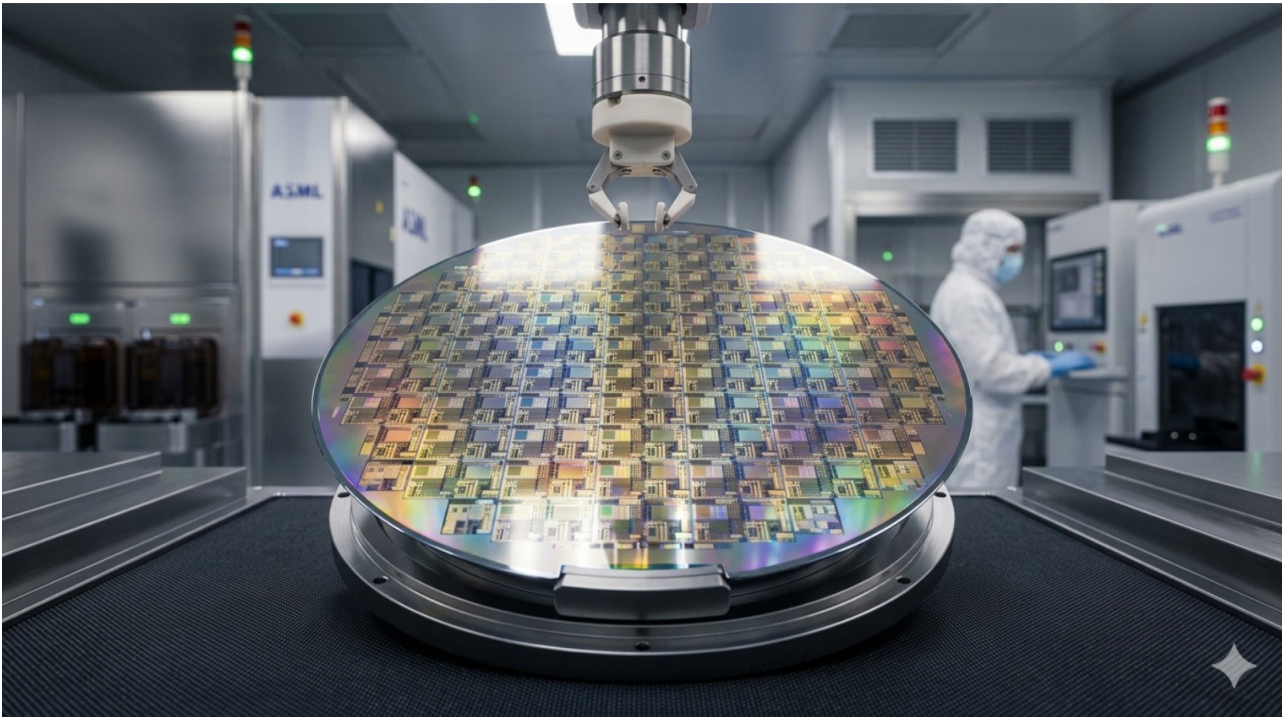
### 2.1. COMPLEXIDADE CIENTÍFICA E TÉCNICA DA LITOGRAFIA EUV

A litografia de ultravioleta extremo (EUV) é o processo mais crítico e tecnologicamente avançado na fabricação de semicondutores modernos. Ela utiliza luz com um comprimento de onda de apenas 13,5 nm (próximo ao raio-X) para imprimir padrões

2 **TSMC.** Site institucional. <https://www.tsmc.com/english>.

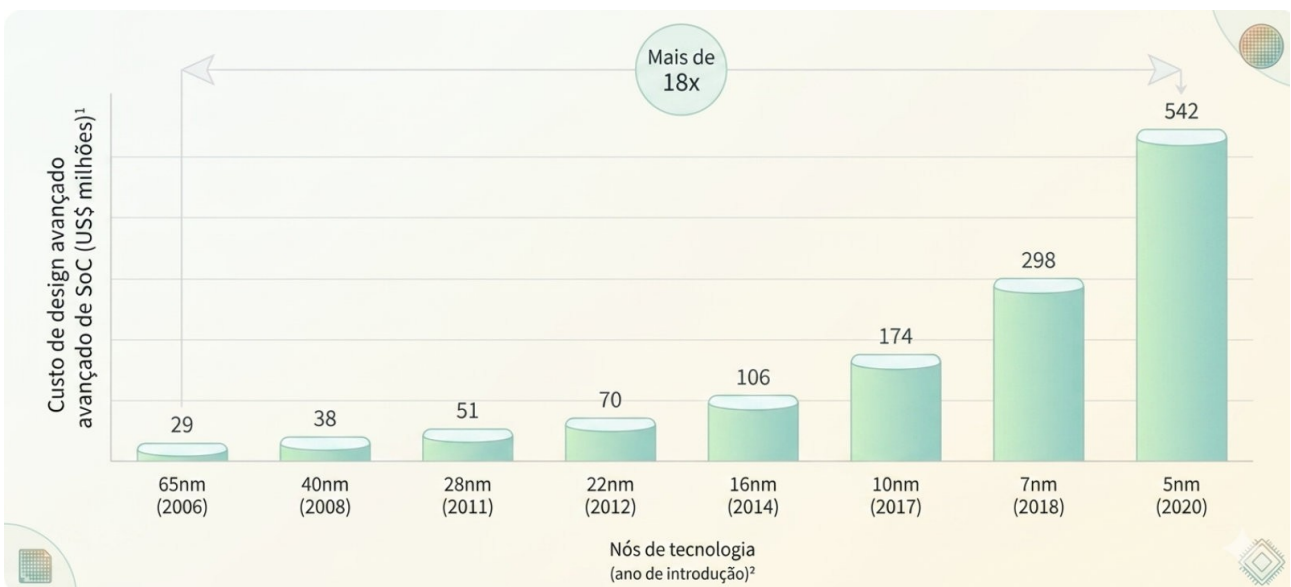
3 **ASML.** Site institucional. <https://www.asml.com/en>.

minúsculos em *wafers* de silício.



*Wafers de silício são finas fatias (discos) de silício semiconductor ultrapuro, utilizadas como base (substrato) para a fabricação de circuitos integrados, chips de computador, processadores e células fotovoltaicas. Eles são essenciais na eletrônica moderna, servindo como a “base” onde microcircuitos são gravados através de processos de litografia (Imagem gerada por IA).*

Os custos dos projetos progridem com a crescente tecnologia empregada para miniaturização dos *chips*, buscando diminuir o tamanho e os custos associados, gasto de energia e aumentar a eficiência:



*Evolução dos custos de design (Imagem gerada por inteligência artificial, com dados IBS, AnySilicon, TSMC).*

## 2.2. DESAFIOS DA ENGENHARIA DE PROJETOS

Ao que se sabe, a concepção de *chips* em ‘nós’ de processo avançados exige uma engenharia de projetos extremamente sofisticada<sup>4</sup>. O design de circuitos integrados com bilhões de transistores em áreas minúsculas envolve a superação de desafios como:

- **Gerenciamento de Calor:** A densidade de transistores gera calor intenso, exigindo soluções inovadoras de dissipação.
- **Integridade do Sinal:** A proximidade dos componentes torna a interferência eletromagnética um problema crítico.
- **Verificação e Teste:** A complexidade dos designs torna a verificação e o teste de *chips* um processo demorado e custoso.

## 2.3. DESAFIOS DA ENGENHARIA DE MATERIAIS

A litografia EUV e os nós de processo avançados dependem de materiais com propriedades específicas e pureza extrema. Os desafios incluem:

- **Máscaras e Fotorresistores:** O desenvolvimento de máscaras sem defeitos e fotorresistores sensíveis à luz EUV é fundamental.
- **Wafers de Silício:** A necessidade de *wafers* de silício com planicidade e pureza quase perfeitas.
- **Materiais Exóticos:** A exploração de novos materiais para melhorar o desempenho e a eficiência energética dos transistores.

## 2.4. DESAFIOS DA NANOTECNOLOGIA

A nanotecnologia<sup>5</sup> no Brasil está em estágio avançado de pesquisa, com o país ocupando posição de destaque na produção científica mundial. Estudos concentram-se em áreas estratégicas como saúde (nanomedicina para câncer), agricultura, eletrônica e materiais, impulsionados pelo Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNANO).

**Produção Científica:** O Brasil está entre os líderes na produção de conhecimento na

4 **MARTIN**, Konrad. “6 Major Challenges in the Semiconductor Industry and How to Address Them.” *Semiconductor Magazine*, 18 de julho de 2025. <https://semiconductormagazine.com/qa/6-major-challenges-in-the-semiconductor-industry-and-how-to-address-them/>.

5 **BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.** “Nanotecnologia.” 17 de junho de 2025. <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/tecnologias-convergentes-e-habilitadoras/nanotecnologia>.

área, com destaque para pesquisas desenvolvidas na USP, Unicamp, UnB e UFMG.

Apesar da excelência acadêmica, especialistas apontam a necessidade de maior aproximação entre universidade e indústria para transformar pesquisa em produtos. A fabricação de transistores em escalas nanométricas empurra os limites da física e da engenharia, por esta razão, a nanotecnologia enfrenta desafios como:

- **Controle de Processo:** A precisão necessária para depositar camadas atômicas e gravar padrões em escala nanométrica é extraordinária.
- **Efeitos Quânticos:** Em escalas tão pequenas, os efeitos quânticos se tornam proeminentes, exigindo novas abordagens de design e fabricação.
- **Rendimento:** Manter um alto rendimento de produção em um ambiente tão complexo é um desafio constante.

## 2.5. TRANSISTORES DE SETE NANÔMETROS E ALÉM

Atualmente, a indústria está produzindo transistores em “nós” de processo de 7 nanômetros (nm), 5 nm e até 3 nm. A Intel, por exemplo, produz *chips* com espessura de 5 nm. A redução do tamanho do transistor permite maior densidade lógica, melhor desempenho e menor consumo de energia.

A tabela a seguir ilustra a evolução dos nós de processo:

Nó de Processo	Densidade Lógica (x)	Melhora de Velocidade (%)	Redução de Energia (%)	Empresa Principal
7 nm	1	Base	Base	Diversas
5 nm (TSMC)	1.8	15%	30%	TSMC
5 nm (Intel)	1	N/A	N/A	Intel
3 nm (TSMC)	1.7	70% (vs 5nm)	N/A	TSMC

*Evolução dos nós do processo (Elaboração própria).*

## 3. DESAFIOS DA INDÚSTRIA E EXPLORAÇÃO DOS MINÉRIOS ESTRATÉGICOS

A indústria de semicondutores é intensiva em capital e requer uma cadeia de suprimentos global complexa e interconectada. Em princípio, a exploração de minérios estratégicos é um componente fundamental dessa cadeia. Minerais como silício de alta pureza, quartzo, gálio, germânio e terras raras são essenciais para a fabricação de semicondutores. Ademais, o Brasil possui reservas significativas de alguns desses minerais, como nióbio e terras raras, o que lhe confere uma posição estratégica.

### 3. 1. LIÇÕES AO BRASIL PARA AUTONOMIA TECNOLÓGICA NO HORIZONTE 2050

A rigor, para que o Brasil alcance autonomia tecnológica no setor de semicondutores até 2050, é imperativo adotar uma abordagem multifacetada e de longo prazo:

**1. Uso de IA na Escolha da Melhor Decisão Multicritério:** A inteligência artificial pode ser empregada para analisar grandes volumes de dados e auxiliar na tomada de decisões complexas, como a seleção de tecnologias, parceiros e investimentos estratégicos. Algoritmos de IA podem otimizar a alocação de recursos e identificar gargalos potenciais na cadeia de valor.

**2. Computação Quântica para Acelerar Resolução de Problemas Complexos:** A computação quântica pode oferecer soluções para problemas de engenharia e materiais que são intratáveis para computadores clássicos. No contexto de semicondutores, isso inclui o design de novos materiais, a simulação de processos em escala atômica e a otimização de algoritmos de litografia de forma diferente da empregada por outros países.

**3. Minirreatores Nucleares para Fornecimento de Energia:** A fabricação de semicondutores é extremamente intensiva em energia. O desenvolvimento e a implementação de minirreatores nucleares (SMRs) podem fornecer uma fonte de energia limpa, estável e abundante, essencial para sustentar a produção em larga escala e reduzir a pegada de carbono da indústria.

**4. Exploração e Processamento de Minérios Estratégicos:** O Brasil deve investir na exploração, beneficiamento e processamento de seus minérios estratégicos, como nióbio e terras raras, garantindo que esses recursos sejam utilizados para agregar valor à cadeia de semicondutores nacional. Isso inclui o desenvolvimento de tecnologias de purificação e a criação de uma indústria de materiais avançados.

# AUTONOMIA TECNOLÓGICA EM SEMICONDUTORES – BRASIL 2050

Quatro pilares estratégicos e a meta de formação de capital humano especializado



## PILAR 1: Inteligência Artificial

Uso de IA para análise multicritério, seleção de tecnologias, parceiros e investimentos estratégicos, otimizando a alocação de recursos na cadeia de valor.



## PILAR 2: Computação Quântica

Resolução de problemas intratáveis: design de novos materiais, simulação de processos em escala atômica e otimização de algoritmos de litografia.



## PILAR 3: Minirreatores Nucleares (SMR)

Fornecimento de energia limpa, estável e abundante para sustentar a produção de semicondutores em larga escala com baixa pegada de carbono.



## PILAR 4: Minérios Estratégicos

Exploração e processamento de Nióbio e Terras Raras para agregar valor à cadeia nacional, com tecnologias de purificação e materiais avançados.

### META DE CAPITAL HUMANO ESPECIALIZADO

BRASIL — Curto Prazo (1–5 anos)

**797 mil** vagas em tecnologia previstas até 2025

BRASIL — Longo Prazo (10 anos)

**30.000 a 50.000** profissionais em semicondutores (engenheiros e técnicos)

Referências Globais

🇻🇳 Vietnã: 50.000 | 🇺🇸 EUA: até 100.000 | 🇯🇵 Japão: 35.000 profissionais adicionais

Os quatro pilares estratégicos propostos para a busca da autonomia tecnológica brasileira em semicondutores e a meta de formação de capital humano especializado até 2050, com referências comparativas internacionais (Elaboração própria).

## À GUIA DE CONCLUSÃO

A Pergunta inicial: “Quais são os principais desafios técnicos, científicos e industriais na produção de semicondutores de ponta, para alcançar a autonomia tecnológica até 2050, considerando seus recursos naturais, capacidades de pesquisa e desenvolvimento, e o cenário geopolítico global”, *ictu oculi*, foi respondida. Isto posto, pode-se vislumbrar que a busca pela autonomia tecnológica em semicondutores é um desafio monumental, mas essencial para o futuro do Brasil. A complexidade inerente à produção de *chips* de ponta, dominada por poucas empresas globais, exige uma estratégia ambiciosa e coordenada.

*Pari passu*, para desenvolver uma indústria nacional de semicondutores competitiva, o Brasil precisa criar dezenas de milhares de vagas STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática), focando não apenas em engenheiros seniores, mas intensivamente em técnicos de nível médio e superior para operação de fábricas e design, baseado em estratégias globais (como do Vietnã e EUA), cujo esforço deve focar na formação de:

**Meta de Longo Prazo (10 anos):** Estabelecer o objetivo entre 30.000 a 50.000 profissionais especializados (engenheiros, técnicos de design e teste), similar à meta do Vietnã de 50.000 profissionais até 2036.

**Demanda Imediata/Curto Prazo (1-5 anos):** O setor de tecnologia no Brasil prevê 797 mil vagas até 2025.

Para semicondutores, iniciativas atuais (como o CI Expert do MCTI) ainda são incipientes (centenas de vagas), indicando a necessidade de multiplicar os esforços de capacitação técnica em pelo menos 10 a 20 vezes.

Exemplos de outros países:

**Vietnã**<sup>6</sup>: Mira 50.000 trabalhadores qualificados, sendo 15.000 em design e 35.000 em produção/pacote.

**EUA**<sup>7</sup>: Necessitam de pelo menos 50.000 a 100.000 novos engenheiros e técnicos até 2030 devido à Lei Chips.

**Japão**<sup>8</sup>: Busca contratar 35.000 engenheiros adicionais na próxima década.

Portanto, ao alavancar a inteligência artificial, a computação quântica, fontes de energia inovadoras como minirreatores nucleares e seus próprios recursos de minérios estratégicos, o Brasil pode traçar um caminho para se tornar um ator relevante na indústria de semicondutores até 2050.

Depende da sociedade convencer as autoridades políticas, notadamente os poderes Legislativo e Executivo, ao esforço nacional urgente para não dependermos de outros países em setores críticos nacionais e estratégicos, como o nuclear, espacial e cibernético, dependentes de tecnologia de semicondutores.

Este caminho não será fácil, mas a recompensa – autonomia tecnológica, desenvolvimento nacional e um futuro digital próspero – justifica o investimento e o esforço contínuo.

---

*\*Carlos A. Klomfahs é advogado, especialista em Direito Internacional dos Conflitos Armados e operador de Inteligência. Egresso curso de geopolítica da ECEME e estratégia marítima da Escola de Guerra Naval. É mestrando no Programa de Pós-Graduação em Segurança Internacional e Defesa (PPGSID) da Escola Superior de Guerra.*

---

6 **BRAZIL VIETNAM CHAMBER.** “Vietnã atrai investimentos em manufatura avançada e semicondutores.” 10 de abril de 2026. <https://brazilvietnam.com/pt/vietna-atrai-investimentos-em-manufatura-avancada-e-semicondutores/>.

7 **ISLAM, Faisal.** “A fábrica secreta dos EUA que expõe contradição em planos de Trump.” BBC News Brasil, 23 de maio de 2025. <https://www.bbc.com/portuguese/articles/cy90x08jxz9o>.

8 **SILVA, Felipe Alves da.** “Japão choca o mundo ao anunciar plano bilionário para construir fábrica de chips na Lua com apoio de Toyota, Sony e governo, mirando tecnologia de 2 nanômetros e domínio global.” Click Petróleo e Gás, 12 de abril de 2026. <https://clickpetroleogas.com.br/japao-choca-o-mundo-ao-anunciar-plano-bilionario-para-construir-fabrica-de-chips-na-lua-com-apoio-de-toyota-sony-e-governo-mirando-tecnologia-de-2-nanometros-e-dominio-global-fpsv/>.