

PEGADA ENERGÉTICA DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

1. Introdução

A Inteligência Artificial (IA) tornou-se uma das tecnologias mais influentes da atualidade, impulsionando setores como saúde, varejo, logística, segurança, educação e indústria. No entanto, à medida que os modelos se tornam maiores e mais sofisticados, cresce também a preocupação com o **impacto ambiental** relacionado ao seu **consumo de energia**. Esse impacto, conhecido como **pegada energética da IA**, envolve toda a energia necessária para treinar, armazenar, operar e manter sistemas baseados em IA.

Com o avanço de modelos de grande porte — como sistemas de IA generativa — esse debate se intensificou, uma vez que o consumo energético dessas redes neurais pode ser comparável ou até superior ao de indústrias tradicionais.

2. O que é Pegada Energética da IA?

A pegada energética da IA se refere ao **total de energia elétrica consumida** ao longo de todo o ciclo de vida de um sistema de Inteligência Artificial, incluindo:

- Treinamento de modelos
- Execução diária (inferência)
- Armazenamento e transferência de dados
- Refrigeração de data centers
- Construção e manutenção da infraestrutura computacional

Além da energia, esse consumo está diretamente ligado à **emissão de CO₂**, ao uso de recursos naturais (como água para resfriamento) e ao impacto climático.

3. Treinamento de Modelos de IA (Etapa de maior consumo)

O treinamento é o processo no qual o modelo aprende padrões a partir de grandes volumes de dados. Essa etapa é extremamente energética devido a:

3.1. Uso de GPUs e supercomputadores

Para treinar modelos avançados, utiliza-se hardware especializado, como GPUs e TPUs — componentes que podem consumir **entre 250W e 700W por unidade**. Muitas vezes, milhares desses chips trabalham simultaneamente.

3.2. Longa duração dos treinamentos

Modelos de última geração podem levar **semanas ou meses** para completar um ciclo de treinamento.

3.3. Alto custo energético comprovado

Pesquisas mostram que:

- Treinar um único modelo de grande escala pode emitir **entre 284 e 626 toneladas de CO₂**, equivalente ao consumo de **mais de 120 carros durante um ano**.
- Estudos do MIT apontam que um modelo de NLP de grande porte pode consumir **mais de 1.000 MWh** apenas no treinamento inicial.

3.4. Crescimento do tamanho dos modelos

Entre 2018 e 2024, os modelos de IA cresceram mais de **1.000 vezes** em número de parâmetros, ampliando exponencialmente o consumo energético.

4. Inferência: Consumo Diário da IA

Após o treinamento, o modelo começa a ser usado pelo público, e essa etapa recebe o nome de **inferência** — quando o sistema gera respostas, imagens, previsões ou análises.

Embora o consumo por uso seja mais baixo do que no treinamento, a inferência ocorre **bilhões de vezes por dia** no mundo todo, o que gera um impacto expressivo.

4.1. Escala global

Serviços como assistentes virtuais, tradutores automáticos, IA generativa e sistemas de recomendação realizam milhões de operações por minuto.

4.2. Custo energético por requisição

Um único prompt em um modelo generativo grande pode consumir **10 a 15 vezes mais energia** do que buscas comuns em mecanismos como o Google.

4.3. Infraestrutura sempre ativa

Servidores precisam ficar ligados 24 horas, resultando em consumo constante de energia e necessidade contínua de refrigeração.

5. Data Centers: O coração da energia da IA

A maior parte da pegada energética da IA está nos data centers, que abrigam milhares de servidores e sistemas de armazenamento.

5.1. Consumo total

Data centers representam aproximadamente:

- **2% a 3% do consumo mundial de eletricidade**
- Projeções indicam que esse valor pode subir para **até 10% até 2030** devido à IA

5.2. Refrigeração

Sistemas de resfriamento representam **30% a 50%** do consumo total de energia de um data center.

Métodos incluem:

- Refrigeração por água

- Refrigeração por ar
- Sistemas de resfriamento evaporativo
- Centros construídos em regiões frias para economizar energia

5.3. Uso de água

Muitos data centers consomem bilhões de litros de água por ano para refrigeração, criando um impacto hídrico além do energético.

5.4. PUE — Power Usage Effectiveness

É o índice que mede a eficiência energética de um data center.

- Data centers modernos conseguem valores próximos de **1,1**
- Estruturas antigas chegam a **2,0** ou mais (ineficiência elevada)

6. Impactos Ambientais da Pegada Energética da IA

6.1. Emissões de CO₂

Quando a eletricidade usada vem de fontes fósseis (carvão, petróleo, gás), a IA contribui para a emissão de gases de efeito estufa.

Exemplo:

Treinar um modelo como o GPT-3 demandou **1,287 MWh**, gerando milhares de toneladas de CO₂, dependendo da matriz energética.

6.2. Aquecimento global

A demanda crescente de energia pressiona sistemas elétricos, elevando a necessidade de usinas térmicas em países dependentes de combustíveis fósseis.

6.3. Consumo hídrico

Algumas empresas estimam que:

- Cada 10 a 20 perguntas para uma IA generativa podem representar o uso indireto de **500 ml a 1 litro de água** na refrigeração dos servidores.

6.4. Descarte de hardware

A troca frequente de GPUs e chips apresenta impactos ambientais relacionados ao lixo eletrônico.

7. Boas Práticas e Soluções para Reduzir a Pegada

7.1. Modelos mais eficientes

Pesquisadores desenvolvem arquiteturas menores e mais rápidas, como:

- Modelos otimizados
- Técnicas de compressão de redes neurais
- Podagem (redução de parâmetros irrelevantes)

7.2. Energia renovável

Grandes empresas como Google e Microsoft investem em:

- Energia solar
- Energia eólica
- Reuso de calor dos servidores
- Compra de créditos de carbono

7.3. Data centers em locais estratégicos

Construção em regiões frias para reduzir a necessidade de refrigeração.

7.4. Otimização de processos de IA

- Redução do número de ciclos de treinamento
- Reuso de modelos pré-treinados
- Inferência distribuída (para economizar hardware)

8. Futuro da Pegada Energética da IA

A tendência é que o uso da IA aumente significativamente nos próximos 10 anos.

Porém, simultaneamente:

- Modelos mais eficientes devem se tornar padrão
- Chips especializados reduzirão o consumo
- Regulamentações ambientais serão mais rigorosas
- Empresas precisarão divulgar publicamente seus dados energéticos

Fontes Utilizadas

1. International Energy Agency (IEA) – Relatórios sobre consumo energético de data centers e IA.
2. MIT Technology Review – “The Cost of Training AI Models”.
3. CarbonBrief – Estudos sobre impacto ambiental da computação.
4. OECD – “Measuring the Environmental Impact of Artificial Intelligence”.
5. Nature – Pesquisas sobre emissões de CO₂ relacionadas à IA.
6. Google Environmental Report – Relatórios anuais de sustentabilidade.
7. Microsoft Sustainability Report – Dados sobre consumo energético e água em data centers.
8. Scientific American – Artigos sobre IA e impacto climático.