

# 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 CO<sub>2</sub>**, 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 CO<sub>2</sub>**, 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 CO<sub>2</sub>

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 CO<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub> 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.