

# A Era da Inteligência Viva

Navegando no **superciclo da tecnologia** que impulsiona a próxima onda de inovação

## Autores

Amy Webb  
Sam Jordan

O Future Today Institute é uma consultoria global especializada em previsão estratégica.

Dezembro de 2024



Tradução Técnica  
Paulo Carvalho

# Índice

- 03 A próxima onda de inovação
- 05 A Fundação: Inteligência Artificial
- 07 Destaque da indústria: IA na descoberta de medicamentos
- 09 Os dados: Sensores avançados
- 13 Casos futuros: Novas fontes de dados estão chegando
- 15 A evolução: Bioengenharia
- 18 Casos futuros: Biologia generativa é a próxima grande ruptura após a IA generativa
- 20 A era da inteligência viva
- 23 Um chamado para ação
- 25 Fontes selecionadas
- 27 Autores
- 28 Metodologia
- 29 Sobre o Future Today Institute

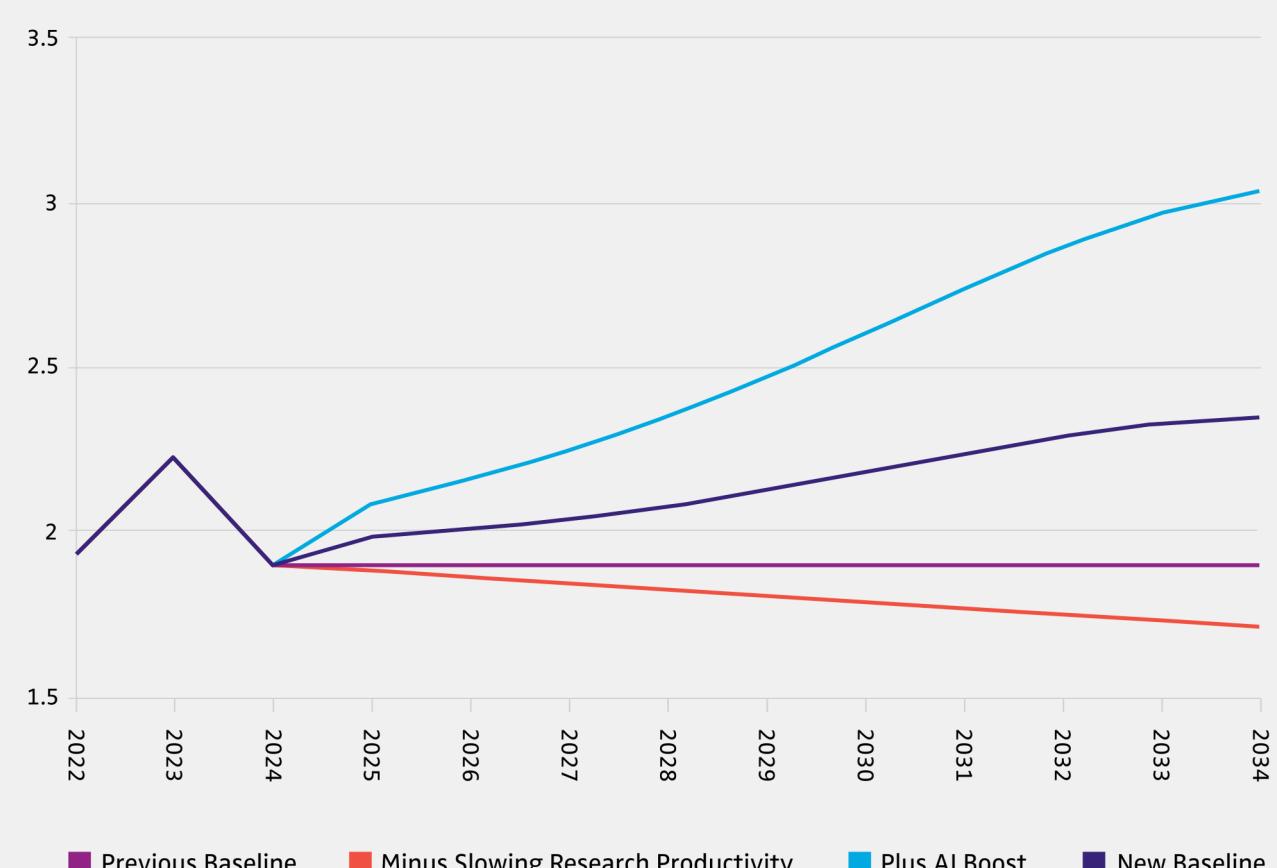
# A próxima onda de inovação

Recentemente, algo muito incomum aconteceu com a produtividade: em agosto de 2024, o **Bureau of Labor Statistics dos EUA** relatou um crescimento de produtividade de **2,7%** em uma base ano a ano, bem acima da média de **1,5%** na última década e da taxa de crescimento de **1%** da Europa. "A diferença [com a composição] é simplesmente enorme depois de 40 anos em termos de renda e padrões de vida", disse o presidente do **Federal Reserve, Jerome Powell**, pouco antes do lançamento do relatório.

Economistas atribuíram o aumento constante da produtividade à **inflação, escassez de mão de obra, queda de salários, demissões e automação**. A especulação também se concentrou no efeito da **IA generativa**, com alguns especialistas projetando grandes ganhos de produtividade na próxima década, com base em experimentos promissores em aumentar agentes não humanos em indústrias como call centers. Como resultado parcial do aumento da produtividade, o aumento incremental do PIB nos EUA em **2030** pode ser significativo, devido a fatores como o **aumento da inteligência humana, o aumento da inovação e a substituição de máquinas por trabalho**. (Ver Figura 1.)

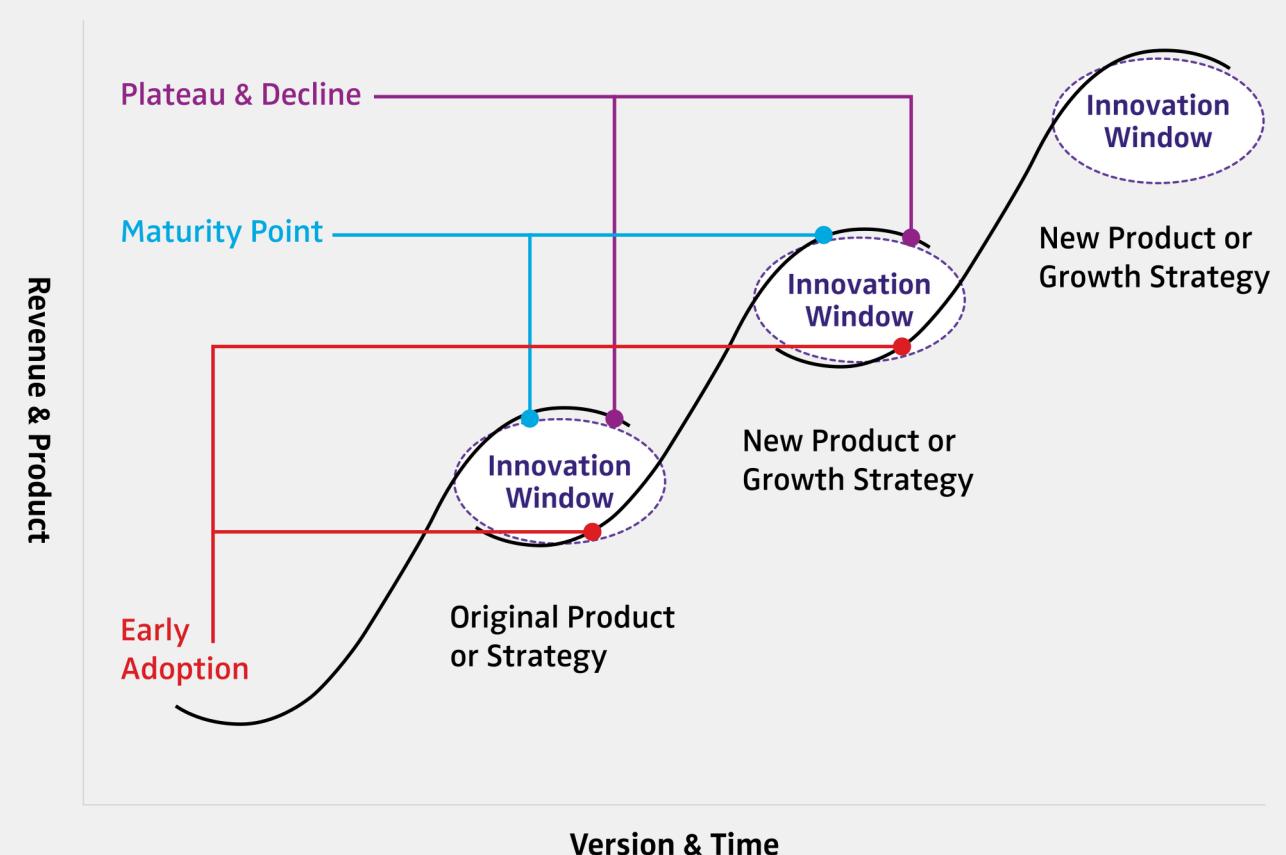
O Future Today Institute tem uma teoria que pode explicar o que está acontecendo. Nós a chamamos de **Tecnologia Superciclo**. Em termos econômicos, um superciclo se refere para um período sustentado de forte expansão econômica em termos de **PIB, preços de ativos**, emprego e demanda por bens e serviços. O último longo boom que se assemelha ao boom atual começou em 1982 e durou até 2001, com alguns soluções temporários ao longo do caminho. A explicação padrão do crescimento durante esses períodos se concentra em **curvas S** — padrões de crescimento rápido e lucros aumentados à medida que uma indústria, produto ou modelo de negócio evolui e eventualmente atinge a maturidade e declina. (Veja a Figura 2.)

Figura 1  
Cenários de crescimento incremental do PIB resultantes da IA nos EUA.



Fonte: Pesquisa Goldman Sachs

Figura 2  
O efeito da curva S da adoção de tecnologia



Fonte: Abdelkader Mazouz, Loay Alnaji, Riadh Jeljeli e Fayed Al-Shdaifat.

1 U.S. Bureau of Labor Statistics, Segundo trimestre de 2024, revisado

## A próxima onda de inovação

Mas essa teoria é inadequada para descrever o que está acontecendo atualmente. No passado, tecnologias de propósito geral (GPTs) como energia a vapor e eletricidade tinham aplicações de longo alcance em vários setores da economia e da sociedade, levando a mudanças generalizadas na produtividade e nas estruturas sociais. Essas tecnologias, em última análise, permitiram novos desenvolvimentos e indústrias além de seu propósito original.

Ao contrário dos ciclos anteriores de avanço tecnológico, que eram mais lineares, nossa pesquisa mostra que esse **superciclo** é exponencial por natureza.

Agora vemos evidências de que estamos entrando em um período liminar entre profunda ruptura e hiper crescimento como resultado de uma intersecção não de uma, mas de três tecnologias de uso geral:

**inteligência artificial, sensores avançados e bioengenharia.** A marca registrada desse **superciclo** de tecnologia emergente é a convergência de tecnologias críticas que remodelarão o mundo de maneiras profundas e imprevisíveis.

A interação e a intersecção dessas tecnologias criará efeitos compostos, empurrando o mundo para uma nova fase de ruptura tecnológica. Como resultado, **modelos econômicos, estruturas de força de trabalho e geopolítica,**

*A interação e a intersecção dessas tecnologias criará efeitos compostos, empurrando o mundo para uma nova fase de ruptura tecnológica.*

As dinâmicas de poder não serão interrompidas; elas se transformarão em um nível fundamental. Novas tecnologias e sua convergência remodelarão fundamentalmente setores inteiros, como **assistência médica, finanças, energia e transporte.** Essa transformação levará ao **colapso de sistemas mais antigos e ao surgimento de novas estruturas.**

**"A convergência dessas três tecnologias de propósito geral resulta em uma nova força poderosa que chamamos de inteligência viva"**

A inteligência viva é composta de fios sobrepostos de tecnologia, cada um deles piscando sinais vermelhos brilhantes de uma mudança econômica e social fundamental.



# A Fundação: Inteligência Artificial

## Sistemas de raciocínio, aprendizagem e autoaperfeiçoamento formam a base técnica da mudança.

A IA representa a próxima era da computação e está incorporada em tudo o que fazemos. A IA opera 24 horas por dia e nunca precisa descansar. É o “**motor de tudo**” que alimenta o **superciclo da tecnologia**.

Aprendizado de máquina (**ML**), aprendizado profundo (**DL**) e IA generativa (**genAI**) são campos interconectados dentro da inteligência artificial. ML é uma área ampla onde algoritmos aprendem com dados para fazer previsões ou decisões sem programação explícita, abrangendo técnicas como aprendizado supervisionado e não supervisionado. **DL** é um subconjunto especializado de **ML** que usa redes neurais multicamadas para aprender automaticamente padrões complexos de grandes conjuntos de dados, para executar tarefas como reconhecimento de imagem e processamento de linguagem natural. **GenAI**, por sua vez, é uma aplicação de aprendizado profundo que se concentra na criação de novos conteúdos e conceitos aprendendo padrões de dados existentes. Modelos como transformadores pré-treinados gerativos e redes adversárias gerativas usam **DL** para gerar novas saídas. A mais recente inovação do Google, NotebookLM, aproveita seus recursos avançados de IA para servir como um assistente de pesquisa pessoal abrangente, transformando a maneira como os usuários interagem com seus próprios dados. Os usuários carregam vários tipos de arquivo— incluindo PDFs, documentos do Word e até mesmo áudio ou sites — em bancos de dados personalizados, que são então processados usando Gemini, o modelo de IA do Google, permitindo interação dinâmica com o conteúdo por meio de consultas conversacionais.

Esta abordagem interativa facilita um envolvimento mais profundo com o material, apoiando os casos de uso como geração de guias

de estudo, resumos e até podcasts.

Um dos recursos de destaque do NotebookLM é sua capacidade de gerenciar e sintetizar grandes quantidades de informações em vários documentos simultaneamente, um diferencial crítico no cenário de IA. Ao contrário dos modelos tradicionais de IA que exigem re-treinamento em conjuntos de dados específicos, o NotebookLM se concentra em alavancar a janela de contexto do modelo — efetivamente sua memória de curto prazo — para aumentar a precisão sem necessitar de retenção de longo prazo de dados do usuário. Isso garante menores taxas de alucinação, melhores respostas contextuais e maior controle dos usuários sobre suas informações.

A IA representa a próxima era da computação e está incorporada em tudo o que fazemos. A IA opera 24 horas por dia e nunca precisa descansar. É o “motor de tudo” que alimenta o superciclo da tecnologia.

A IA também está acelerando o desenvolvimento de novos materiais. A execução de experimentos geralmente requer pequenos ajustes metódicos em medições, materiais e entradas. Estudantes de pós-graduação podem passar centenas de horas tediosas repetidamente fazendo pequenos ajustes até encontrarem uma solução — um desperdício de tempo e capacidade intelectual.

## A Fundação: Inteligência Artificial

Ao contrário dos estudantes de pós-graduação, a IA não precisa dormir. O programa de IA GNoME do Google DeepMind (nomeado após sua capacidade de representar graficamente redes para exploração de materiais) expandiu significativamente o universo de materiais estáveis para construir coisas como baterias, microchips e painéis solares. Esses modelos de aprendizado profundo geram bilhões de estruturas potencialmente utilizáveis. Os principais candidatos são então filtrados por meio de modelos GNoME, que preveem sua estabilidade com base apenas em fórmulas químicas.

A ferramenta identificou 421.000 novos cristais potencialmente estáveis de um vasto conjunto de 2,2 milhões de estruturas materiais, e mais de 700 já foram criados e testados em laboratórios.

Esta descoberta, publicada na Nature<sup>2</sup>, demonstra a capacidade da IA de melhorar nossa compreensão de materiais, livre das restrições da mente humana.

Além de testar hipóteses, a IA também está acelerando a experimentação científica. Muitos pesquisadores estão usando “laboratórios autônomos” — plataformas robóticas automatizadas aprimoradas com IA. Um exemplo é o Emerald Cloud Lab, uma instalação de pesquisa que conduz experimentos sem que um pesquisador tenha que pisar em um espaço de laboratório físico. Usando IA, o laboratório pode lidar autonomamente com tudo, desde o design do método até a operação do instrumento e a aquisição e análise de dados. Um estudo de 2023 publicado na Nature mostrou como um laboratório autônomo produziu com sucesso 41 novas substâncias ao longo de 17 dias de trabalho ininterrupto. Mas a própria IA está se transformando rapidamente. Os modelos de IA estão ficando menores e podem ser cada vez mais localizados na borda. Os custos de computação para treinar modelos de grandes linguagens (LLMs) têm dobrado a cada nove meses desde 2016.

Ao mesmo tempo, a computação física necessária para produzir a qualidade desejada de resultados está caindo pela metade a cada oito meses. A IA está se tornando mais eficiente, mas o custo para treinar modelos cada vez mais poderosos está aumentando rapidamente, mesmo que os avanços de hardware reduzam a carga computacional até certo ponto.

Em resposta, surgiram modelos de linguagem pequena (SLMs) leves e energeticamente eficientes que apresentam menos parâmetros e conjuntos de dados mais focados. Os SLMs podem ser até 29 vezes mais baratos que os LLMs que consomem grandes quantidades de recursos de computação e energia, estimam pesquisadores da Universidade de Michigan. Dezenas de SLMs agora existem, e o número está crescendo rapidamente. Eles estão impulsionando novos usos inovadores de IA em dispositivos de ponta.

*A IA está se tornando mais eficiente, mas o custo para treinar modelos cada vez mais poderosos está aumentando rapidamente, mesmo que os avanços de hardware reduzam a carga computacional.*

<sup>2</sup> <https://www.nature.com/articles/s41586-023-06735-9>

<sup>3</sup> <https://epochai.org/trends>

## A Fundação: Inteligência Artificial

### IA na descoberta de medicamentos

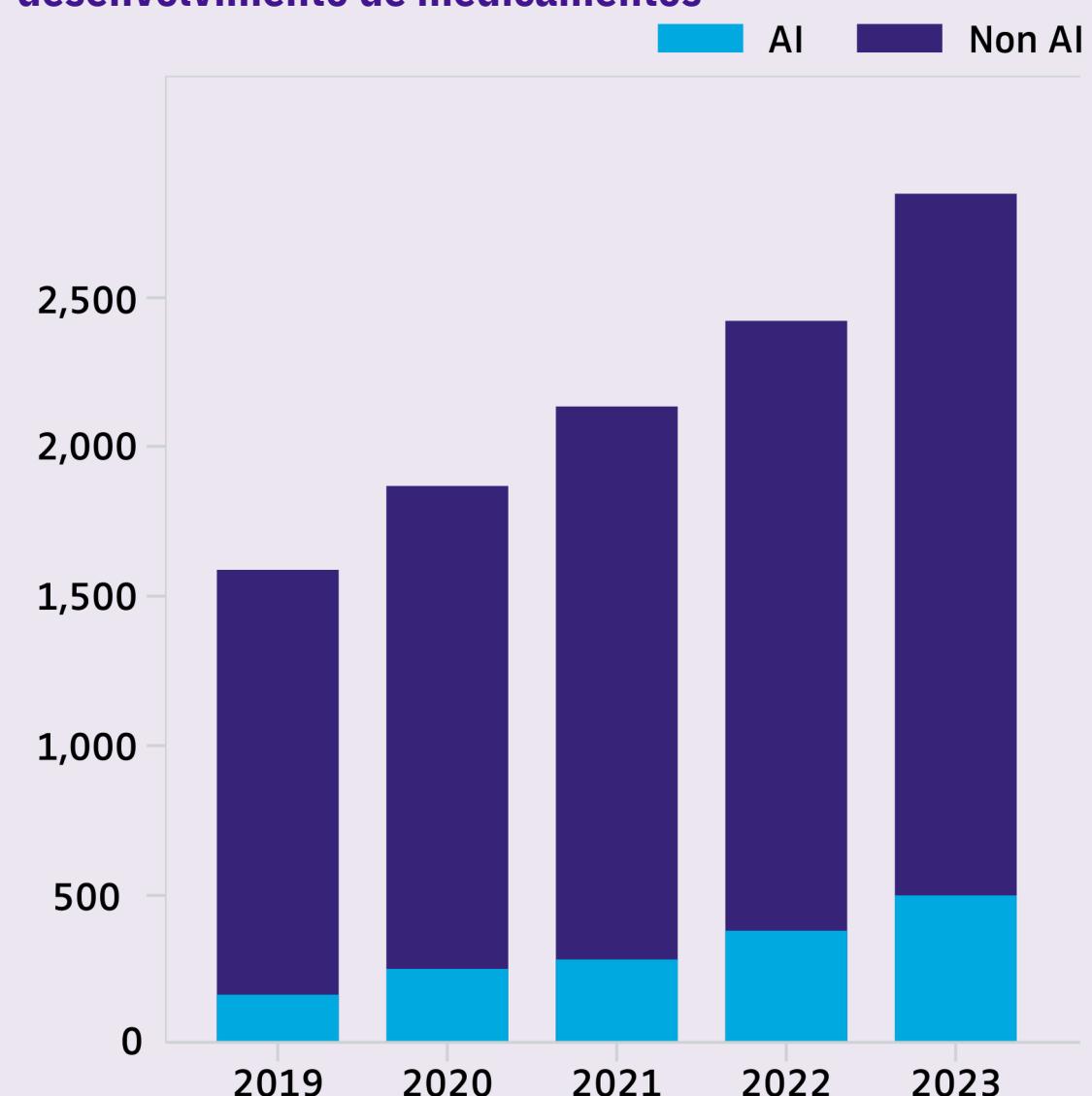
A indústria farmacêutica foi uma das primeiras a adotar a tecnologia de computadores e agora está rapidamente integrando a IA na descoberta de medicamentos.

O método tradicional usado pode ser proibitivamente caro e demorado: pode custar até US\$ 2,6 bilhões e levar 13,5 anos para ir da ideia a um medicamento aprovado. Parte da despesa tem a ver com o alto desgaste de potenciais candidatos a medicamentos. Quase 80% falham devido à eficácia, toxicidade ou simplesmente porque o corpo não distribui, absorve ou metaboliza o medicamento como deveria.

A descoberta de novos medicamentos provou ser um alvo inteligente para a IA, e a pesquisa está acelerando. Em 2019, um em cada 10 artigos de periódicos científicos era sobre IA no desenvolvimento de fármacos em 2024, será um em cada cinco. (Veja a Figura 3.) Os pesquisadores agora estão trabalhando em tudo, desde a identificação de acertos (previsão de interações entre fármacos e alvos, o que pode reduzir o custo e o tempo para validação experimental) até a identificação de leads (projeto e otimização de combinações de ingredientes (para produzir as propriedades desejadas). Essa atividade mostra o quanto a IA está impulsionando a conversão agência de tecnologias de uso geral em campos adjacentes. Ao aplicar algoritmos avançados para aproveitar vastos conjuntos de dados — da genômica aos ensaios clínicos — a IA permite uma identificação mais direcionada de candidatos promissores e ilumina suas interações com caminhos de doenças. Isso simplifica o processo geral de P&D, aumentando a produtividade e as taxas de sucesso, ao mesmo tempo em que reduz os custos e expande as opções de tratamento para doenças antes intratáveis. A lacuna entre laboratórios computacionais intensivos em dados e laboratórios tradicionais está diminuindo, com moléculas projetadas por IA já avançando para ensaios clínicos.

### DESTAQUE DA INDÚSTRIA

Figura 3  
Artigos de pesquisa relacionados à IA sobre desenvolvimento de medicamentos



Fonte: Pesquisa e análise do Future Today Institute.

### Considere estes avanços recentes: Dispositivos médicos

Cada vez mais, a IA está sendo incorporada em dispositivos médicos e está acelerando os processos de radiologia e lidando com cirurgias delicadas. Em radiologia, ferramentas de IA como aquelas usadas em dispositivos de ultrassom portáteis permitem diagnósticos mais rápidos de problemas cardíacos, tornando máquinas de ecocardiografia complexas desnecessárias em alguns casos. A tecnologia está sendo usada em Tel Aviv no Sheba Medical Center, onde pesquisadores desenvolveram uma sonda de ultrassom portátil pareada com um tablet de computador e a integraram com uma ferramenta de visão computacional para diagnosticar problemas cardíacos em minutos. As imagens são carregadas em uma nuvem segura, onde são comparadas a um grande corpus de exames existentes e uma análise é enviada de volta ao médico em tempo quase real.

## A Fundação: Inteligência Artificial

A IA também está chegando à sala cirúrgica. Hoje, os cirurgiões podem realizar procedimentos minimamente invasivos assistidos por robótica controlando um robô cirúrgico da Vinci, cujos braços são equipados com instrumentos cirúrgicos e uma câmera. Pesquisadores da Universidade da Califórnia em Berkeley, Google e Intel usaram vídeos de cirurgiões para treinar um algoritmo para suturar com precisão, o que sugere que é provável que a IA em breve inaugure novos níveis de autonomia.

## Dobramento de proteínas

AlphaFold é uma ferramenta de IA que prevê a estrutura de proteínas e superou cerca de 100 equipes em um desafio bienal de previsão de estrutura de proteínas que há muito tempo incomoda biólogos. Em uma atualização de dezembro de 2023, a Isomorphic Labs e a DeepMind lançaram um modelo AlphaFold aprimorado que prevê estruturas de proteínas com maior precisão e modela interações com moléculas adicionais, como ligantes. O AlphaFold previu as formas de quase todas as proteínas do corpo humano, bem como centenas de milhares de outras proteínas encontradas em 20 dos organismos mais amplamente estudados, incluindo leveduras, moscas-das-frutas e camundongos. E mais recentemente, em maio de 2024, a equipe apresentou o AlphaFold 3, um novo modelo que não apenas prevê a estrutura das proteínas, mas também quase todos os elementos da vida biológica, como DNA, RNA, ligantes e suas interações.

## Desenvolvimento de medicamentos com IA em primeiro lugar

Cientistas da Ludwig-Maximilians-Universität München desenvolveram um modelo de IA que prevê onde as moléculas podem ser alteradas quimicamente, permitindo uma síntese mais eficiente e sustentável. Uma equipe da Universidade de Cambridge criou uma plataforma que automatiza experimentos e, em seguida, usa IA para prever reações químicas. Até recentemente, esse processo de tentativa e erro era lento e ineficiente. Grandes líderes farmacêuticos, como Johnson & Johnson, Novartis e AstraZeneca

já firmaram parcerias com startups de IA para explorar a velocidade incomparável do aprendizado profundo e as capacidades de reconhecimento de padrões para analisar grandes volumes de dados. Embora a IA ainda não possa substituir a ciência de laboratório, ela acelera significativamente a previsão, o design e a validação para otimizar os cronogramas.

## Design de anticorpos generativos

Um anticorpo é uma proteína que protege um organismo de substâncias nocivas e doenças. Em 2023, pesquisadores da Absci Corp. mostraram como um modelo de IA generativa foi capaz de projetar vários anticorpos novos que se ligam ao receptor HER2 mais firmemente do que as terapias conhecidas anteriormente. Os pesquisadores removeram dados sobre anticorpos que fariam o modelo simplesmente imitar a estrutura de anticorpos conhecidos que funcionam bem. Os designs resultantes ainda não eram conhecidos por existir e receberam uma pontuação alta em "naturalidade", o que significava que gerariam uma forte resposta imunológica. Usar IA generativa para projetar novos anticorpos que funcionam no mesmo nível — ou até melhor — do que o corpo produz marca um passo promissor para reduzir a velocidade e o custo do desenvolvimento de anticorpos terapêuticos.

## Ensaios In-Silico

Esses experimentos digitais usam simulações de computador em vez de sujeitos humanos para testar novos medicamentos e terapias. Eles usam IA para criar “gêmeos digitais” que imitam a biologia e a doença humana para melhorar o processo de desenvolvimento de medicamentos. Ao executar milhares de testes virtuais, os pesquisadores podem prever de forma rápida e acessível como um medicamento pode funcionar em pacientes humanos. Por exemplo, uma empresa chamada Novadiscovery usou IA para prever com precisão os resultados de um teste clínico de Fase 3. Os testes in-silico podem um dia substituir até metade dos testes em humanos, e os reguladores estão analisando como incluir esses resultados virtuais no processo de aprovação.

# Os Dados: Sensores Avançados

## Dados de todos os lugares treinam a IA em tempo real, ampliando a mudança em direção à IA.

Se a IA é o motor de tudo, esse motor vai precisar de dados. A próxima tecnologia de propósito geral envolve sensores avançados: uma rede de dispositivos interconectados que se comunicam e trocam dados para facilitar e alimentar o avanço da inteligência artificial.

Nossa pesquisa mostra uma explosão cambriana iminente devido a bilhões e bilhões de sensores que estão sempre ligados e estarão cada vez mais em (e talvez dentro) de nós.

Sensores já estão em todos os lugares, sendo usados em vários setores. O fabricante de máquinas agrícolas John Deere usa sensores inteligentes para monitorar as condições do solo, a saúde da colheita e o desempenho do equipamento. Os sensores também permitem que os tratores apliquem níveis precisos de fertilizantes para as colheitas.

Os dados coletados por esses sensores alimentam algoritmos que otimizam práticas agrícolas, melhorando a produtividade das colheitas e a eficiência de recursos. À medida que a tecnologia de sensores avança, os sistemas de IA impulsionam maiores inovações na agricultura sustentável. A empresa de tecnologia de agricultura de precisão Sentera fabrica drones equipados com sensores inteligentes que capturam imagens de alta resolução e dados sobre o crescimento e a saúde das colheitas. Dados aéreos ajudam os bioengenheiros a identificar e entender as características genéticas que contribuem para o crescimento ideal sob várias condições ambientais, levando ao desenvolvimento de colheitas bioengenheiradas que podem se adaptar melhor às mudanças climáticas e às pressões de pragas, melhorando assim a produtividade agrícola e a sustentabilidade.

A empresa de tecnologia ambiental Airly usa sensores e IA para monitoramento da qualidade do ar em tempo real. A Airly opera uma vasta rede de sensores eletroquímicos avançados e contadores de partículas a laser para medir gases (monóxido de carbono, dióxido de nitrogênio, ozônio, dióxido de enxofre) e condições ambientais como pressão, temperatura e umidade. A cidade de Varsóvia, Polônia, instalou 165 dispositivos para monitorar a qualidade do ar na cidade e, finalmente, ajudar a melhorar a saúde pública. Os dados revelaram fontes de poluição localmente, e análises posteriores resultaram em recomendações sobre como fazer melhorias.

A Xylem, uma empresa de tecnologia de água, desenvolveu um novo tipo de medidor de água que aproveita sensores avançados e IA para gerenciar os desafios da distribuição de água em ambientes densamente povoados. Os medidores medem continuamente o fluxo de água e fornecem dados granulares sobre os padrões de consumo; eles também podem identificar anomalias no fluxo de água, como quedas de pressão ou padrões de uso irregulares, que normalmente resultam de um vazamento. O sistema de IA da Xylem também inclui análise preditiva para manutenção.

Em vez de reagir a um cano estourado ou a uma falha do sistema, os sensores e ferramentas de IA podem antecipar uma emergência enviando alertas aos gerentes de serviços públicos. À medida que a biologia projetada melhorou, ela permitiu novos tipos de sensores biológicos que podem ser usados e ingeridos. Seu propósito: enviar e receber dados em tempo real. Pequenas máquinas, chamadas nanobots, podem monitorar a saúde do paciente em tempo real após serem injetadas na corrente sanguínea. Atuando como sistemas de vigilância interna, os nanobots podem detectar mudanças em estímulos e condições ambientais, permitindo

## Os Dados: Sensores Avançados

para monitoramento contínuo da saúde e diagnóstico precoce de potenciais problemas de saúde.

Os nanobots também oferecem detecção e diagnóstico precisos de doenças no nível molecular, interagindo diretamente com células e maquinário celular. Por exemplo, o câncer de bexiga está entre os cânceres mais comuns globalmente, especialmente entre homens.

Embora os tratamentos atuais ofereçam boas taxas de sobrevivência, quase metade de todos os tumores recorrem em cinco anos, necessitando de monitoramento contínuo. Pesquisadores do Instituto de Bioengenharia da Catalunha e do CIC biomaGUNE desenvolveram nanorrobôs movidos a ureia que carregam radionuclídeos que reduziram os tumores de bexiga em camundongos em 90%. A abordagem pode levar a tratamentos mais eficazes e potencialmente reduzir o tempo de hospitalização do paciente.

Certos distúrbios neurológicos são melhor tratados com neuroestimulação, mas a eletroestimulação tradicional de dispositivos de estimulação podem causar respostas imunes accidentalmente. Canan Dagdeviren, um professor do MIT Media Lab, está liderando uma equipe que desenvolveu um estimulador piezoelétrico de ultrassom implantável, que é um novo sensor que pode fornecer pressões ultrassônicas focadas para modular a atividade neuronal. Sua equipe também criou um sistema piezoelétrico — basicamente um dispositivo macio, fino e cheio de sensores — que pode ser torcido, enrolado e implantado no corpo. Outro sistema usa um cristal piezoelétrico e um favo de mel patch em forma de coração que pode ser usado confortavelmente sobre o seio para escaneamento e geração de imagens de tecidos profundos. A AbbVie Inc. patenteou tratamentos administrados por via subcutânea para doença de Parkinson avançada, e a Life Patch International desenvolveu dispositivos de diagnóstico pessoal com circuitos microfluídicos para testes transdérmicos. Os avanços da Medtronic em sensores inteligentes de glicose, que fornecem real-monitoramento temporal dos níveis de açúcar no sangue, permite o desenvolvimento de bombas de insulina bioengenheiradas mais responsivas e adaptáveis que podem

ajustar automaticamente as dosagens com base nos dados do corpo, melhorando o gerenciamento do diabetes e os resultados dos pacientes. A Abbott, fabricante de dispositivos médicos, criou seu CardioMEMS HF System, que depende de sensores inteligentes implantados na artéria pulmonar para monitorar remotamente os sinais vitais de pacientes com insuficiência cardíaca. Dados em tempo real desses sensores levaram à criação de órgãos e tecidos humanos bioengenheirados que podem responder melhor às condições do corpo.

Sensores inteligentes agora capturam não apenas métricas biológicas internas, mas também dados sobre comportamentos, ações e expressões em nossos ambientes.

À medida que a tecnologia de sensores avança, o volume e a qualidade dos dados coletados crescem, alimentando melhorias contínuas em modelos de IA. Esse ciclo de feedback permite que a IA capture tipos de dados mais complexos e anteriormente inacessíveis. Empresas como a Viso.ai fornecem reconhecimento de emoções e análise de sentimentos, ajudando os varejistas a avaliar o comportamento do cliente, detectar interesse e antecipar a intenção de compra, permitindo intervenções oportunas.

À medida que os sistemas de IA exigem cada vez mais diversos tipos de dados, especialmente entradas sensoriais e visuais, os grandes modelos de linguagem devem incorporar essas entradas em seu treinamento ou correr o risco de atingir os tetos de desempenho. Esse desafio surge por dois motivos principais: o esgotamento de dados de treinamento de alta qualidade e crescentes preocupações legais. Atualmente, muitos dos dados de treinamento de IA vêm de fontes online como Wikipedia, Reddit e livros. No entanto, à medida que surgem ações legais sobre o uso indevido de informações protegidas por direitos autorais e proprietários, o conjunto de dados disponíveis está diminuindo. Ao mesmo tempo, os sistemas de IA estão vorazes por tipos de dados mais complexos, como entradas sensoriais e visuais, o que significa que grandes modelos de linguagem enfrentarão retornos decrescentes se continuarem a depender apenas de dados baseados em texto.

Para manter sua eficácia, esses modelos precisarão evoluir e integrar novos tipos e fontes de dados. As empresas perceberam que precisam para inventar novos dispositivos a fim de adquirir ainda mais dados para treinar IA.

## **Os Dados: Sensores Avançados**

### **Sensores estão melhorando junto com a IA**

Nossa pesquisa mostra que o número de relatórios de lucros de empresas públicas sediadas nos EUA e na Europa mencionando IA e a internet das coisas (IoT) juntas cresceu 61% desde o terceiro trimestre de 2022. Os pedidos de patentes para tecnologia de sensores, bem como o número de grandes negócios relacionados à IoT na indústria farmacêutica, cresceram significativamente de 2021 a 2022, embora o crescimento tenha sido seguido por um período de declínio antes de se estabilizar em um nível mais alto.

Sensores avançados evoluíram rapidamente, em parte graças à IA. Eles estão se tornando cada vez mais sofisticados, miniaturizados e integrados em nossas vidas diárias — a ponto de serem amplamente invisíveis para nós agora. Sensores são colocados dentro de dispositivos em nossas casas, incorporados em nossos serviços públicos, conectados a fábricas e além, monitorando e medindo vários parâmetros ao nosso redor, muitas vezes sem nossa consciência. A microeletrônica e a nanotecnologia agora reduziram drasticamente o tamanho dos sensores e desbloquearam mais especializações. O smartphone médio tem entre 18 e 25 sensores (e contando), cada um projetado para um uso específico:

para detectar movimento, entender posicionamento, sentir o ambiente e detectar a biometria individual de um usuário. Carros modernos incluem sensores de luz, que ligam automaticamente as luzes do carro quando está escuro lá fora. A comida que você come provavelmente passou por uma dúzia ou mais sensores para detectar patógenos, medir o teor de umidade, controlar a taxa de ingredientes líquidos durante a mistura e distribuição, avaliar a qualidade, medir acidez ou alcalinidade e monitorar níveis de pressão durante a embalagem e esterilização.

Com melhorias na IA, os sensores modernos são mais capazes de detectar pequenas mudanças com uma alta taxa de precisão e relatar anomalias. Parte de redes mais amplas, os sensores avançados coletam dados de uma vasta gama de fontes, que são processados e analisados com IA, e podem permitir a tomada de decisões em tempo real — mas essas redes também podem aprender a se autoaprimorar por meio do aprendizado por reforço com feedback humano.

### **Sensores avançados impulsionarão a IA além dos grandes modelos de linguagem para grandes modelos de ação**

Em um futuro próximo, empresas como a Apple ou o Google incorporarão sensores inteligentes em dispositivos para coletar e analisar continuamente dados pessoais, como métricas de saúde, dados de localização e informações sobre hábitos diários. Todos esses dados serão usados para criar perfis altamente individualizados que se vinculam a modelos de linguagem e ação pessoais, adaptados especificamente às necessidades e preferências de cada usuário. A IA personalizada fornecerá experiências, decisões e informações personalizadas, tornando as interações com a tecnologia mais intuitivas e responsivas aos estilos de vida individuais. (Consulte “Novos Dados As fontes estão chegando”, p. 13.)

A integração desses dados em tempo real de uma infinidade de fontes permitirá uma nova classe de sistemas de IA além dos grandes modelos de linguagem (LLMs) de hoje: grandes modelos de ação (LAMs). Se os LLMs preveem o que dizer em seguida, os LAMs preveem o que deve ser feito em seguida, dividindo tarefas complexas em partes menores. Ao contrário dos LLMs que geram principalmente conteúdo, os LAMs são otimizados para execução de tarefas, permitindo que tomem decisões em tempo real com base em comandos específicos. Os LAMs usam uma constelação de sensores em todos os lugares, ao nosso redor, coletando vários fluxos de dados ao mesmo tempo de wearables, dispositivos de realidade estendida, a internet das coisas, o lar das coisas, carros inteligentes, escritórios e apartamentos inteligentes.

## Os Dados: Sensores Avançados

À medida que os LAMs se tornam mais incorporados em nossos ambientes, eles operarão perfeitamente, muitas vezes sem o envolvimento direto dos usuários. As inovações fundamentais que impulsionam esse superciclo tecnológico desaparecerão de vista, fornecendo soluções ambientais em tempo real, adaptadas às necessidades do usuário, sem exigir envolvimento direto. À medida que esses sistemas evoluem, eles levarão à criação de modelos pessoais mais avançados, projetados para antecipar nossas necessidades sem contribuição consciente. Enquanto isso, os modelos de grande ação pessoal, ou PLAMs, eventualmente interagirão com diferentes sistemas, aprenderão com grandes conjuntos de dados e se adaptarão às necessidades comerciais em mudança. Os PLAMs melhorarão nossas experiências digitais, virtuais e físicas, simplificando a tomada de decisões, gerenciando tarefas, negociando acordos e antecipando nossas necessidades com base em dados comportamentais. Eles não precisarão de contribuição consciente. Esses agentes autônomos personalizarão recomendações, otimizarão compras e se comunicarão com outros agentes confiáveis, permitindo transações contínuas – tudo isso mantendo a privacidade e as preferências do usuário, já que os PLAMs, por definição, têm acesso a todos os dados do usuário em dispositivos pessoais. Enquanto as pessoas terão PLAMs, as corporações também terão um ou mais modelos de grande ação corporativa (CLAMs), e os governos voltados para o digital terão modelos de grande ação governamental (GLAMs). Todos esses modelos interagirão com diferentes graus de sucesso.

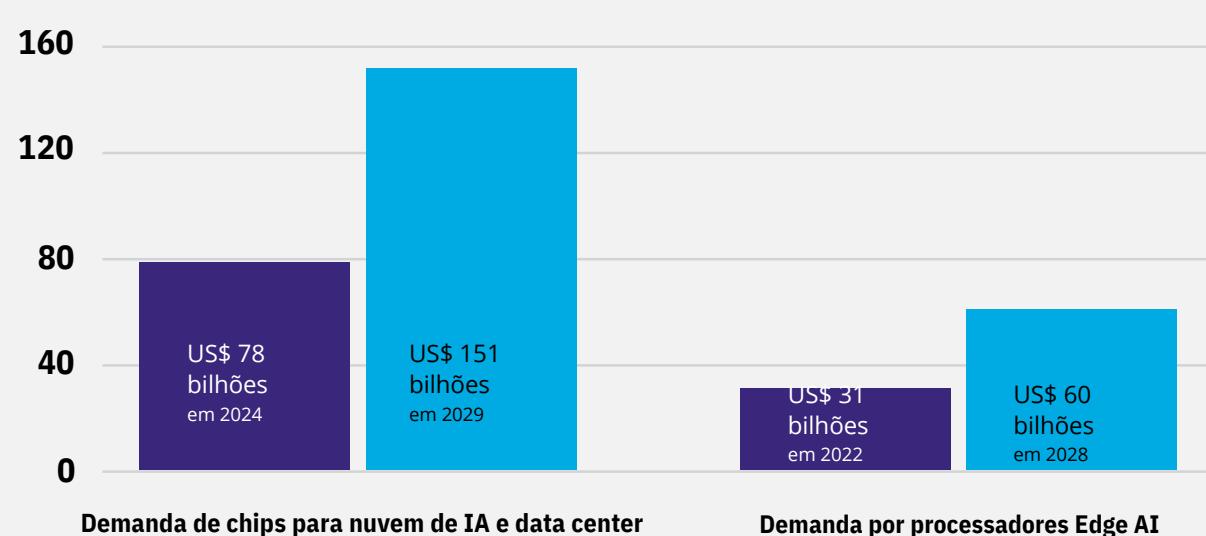
Além disso, esses modelos oferecem novas alternativas para proteger transações. Prevemos alguma versão de autenticação de modelo de ação pessoal grande (ou PLAM Auth) que gerenciará com segurança os dados do usuário e facilitará as transações entre plataformas, oferecendo regras de compartilhamento de dados mais detalhadas do que as estruturas existentes, como OAuth e SSO. PLAM

Auth seria um novo padrão que transforma fundamentalmente a maneira como diferentes plataformas, realidades, dispositivos habilitados para sensores e aplicativos fornecem acesso seguro aos dados do usuário em ambientes digitais, virtuais e físicos. Eles adaptariam de forma contínua e automática o processo de autenticação ao comportamento do usuário sem interações manuais e garantiriam que apenas os dados necessários fossem compartilhados para transações personalizadas. À medida que os usuários navegam em ambientes cada vez mais complexos e ricos em dados, o PLAM Auth otimiza a segurança enquanto as interações são contínuas em todas as plataformas.

Não sabemos se é exatamente isso que o futuro reserva, mas esses desenvolvimentos indicam que os sensores terão uma enorme influência em como interagimos com o mundo.

Figura 4

**Previsão da indústria de tecnologia: tamanho do mercado de dispositivos e armazenamento**



Fontes: IoT Analytics, Omdia, Future Today Institute.

**Havia 16,6 bilhões de dispositivos conectados em operação no final de 2023. O número de dispositivos conectados à IoT deve dobrar, para 37,5 bilhões nos próximos sete anos.**

## Novas fontes de dados estão chegando

A integração de sensores e dispositivos vestíveis redefinirá o cenário de coleta e uso de dados. Além de smartwatches e telefones, alguns sensores de próxima geração incluem:

- **Sensores químicos vestíveis, que rastreiam Composição do suor e detecção de níveis de hidratação e eletrólitos.**
- **Sensores de nível ultrassônicos, que medem níveis de fluidos em ambientes industriais em tempo real.**
- **Sensores de vinhedo, que monitoram a disponibilidade de água, a luz solar e a umidade do solo para otimizar a irrigação e a saúde das plantações de uvas.**

No futuro, o volume de dados disponíveis para análise se expandirá exponencialmente, oferecendo insights sem precedentes sobre o comportamento do consumidor e as interações ambientais. O desafio para as organizações não estará simplesmente na coleta de dados, mas também na análise e interpretação sofisticadas desse dilúvio de dados. Algoritmos e estruturas analíticas cada vez mais avançados serão necessários.

À medida que os modelos de IA se tornam mais complexos, arquiteturas de computação alternativas, como IA neurosimbólica, tecnologia de processamento na memória e chips de IA especializados para processamento no dispositivo, podem oferecer vantagens significativas em termos de eficiência, velocidade e privacidade.

*No futuro, o volume de dados disponíveis para análise se expandirá exponencialmente, oferecendo insights sem precedentes sobre o comportamento do consumidor e as interações ambientais.*

### IA na Borda Desbloqueia Novas Fontes de Dados

Dispositivos inteligentes como telefones não têm a memória e o poder de computação necessários para ajustar modelos de IA com dados do usuário ao longo do tempo. Essa limitação significa que as informações pessoais devem ser transmitidas para a nuvem para atualização, um processo que consome muita energia e corre o risco de comprometer a privacidade dos dados. Agora, avanços como o PockEngine permitem um aprendizado eficiente no dispositivo sem descarregar dados. Desenvolvido por meio de uma colaboração do MIT e da IBM, o PockEngine é um modelo de treinamento que identifica seletivamente as partes específicas de um modelo enorme para atualizar localmente com base nas entradas exclusivas de um usuário. Isso permite que os dispositivos capturem e processem continuamente novos fluxos de dados em tempo real — como modulação de voz, hábitos do usuário e mudanças ambientais — sem a necessidade de conectividade constante com servidores externos.

Ao focar apenas nos parâmetros essenciais do modelo e nos cálculos de pré-processamento, o PockEngine maximiza a eficiência energética e de dados enquanto cria modelos personalizados de deep-learning.

## Os Dados: Sensores Avançados

Como resultado, tipos de dados anteriormente inacessíveis — como padrões comportamentais de granulação fina, microexpressões ou contexto ambiental — agora podem ser capturados e incorporados em modelos de IA personalizados diretamente no dispositivo. Por exemplo, assistentes de IA podem se adaptar continuamente ao sotaque ou aos padrões de digitação de um usuário sem depender de conectividade constante na nuvem. Testes mostram que o PockEngine pode ajustar modelos complexos até 15 vezes mais rápido do que alternativas, tudo isso mantendo ou aumentando a precisão.

*À medida que os modelos de IA se tornam mais complexos, arquiteturas de computação alternativas, como IA neurosimbólica, tecnologia de processamento na memória e chips de IA especializados para processamento no dispositivo, podem oferecer vantagens significativas em termos de eficiência, velocidade e privacidade.*

## Pequenos modelos de linguagem desvendam dados pessoais

Embora grandes modelos de linguagem com bilhões ou trilhões de parâmetros tenham demonstrado capacidades impressionantes, modelos menores de IA podem ser mais adequados para casos de uso baseados em edge. Embora menos amplamente capazes, minimodelos especializados trazem benefícios como inferência mais rápida, menores requisitos de computação e integração mais fácil em dispositivos de edge. Para usos móveis e incorporados, LLMs massivos baseados em nuvem são frequentemente impraticáveis devido ao seu tamanho e latência substanciais. Modelos mais compactos na casa dos milhões ou bilhões de parâmetros de um dígito, no entanto, poderiam potencialmente rodar eficientemente em smartphones e dispositivos IoT. Isso significa que fontes de dados em tempo real anteriormente inexploradas, como preferências do usuário em casa, comportamentos de aparelhos ou comandos de voz localizados, podem ser capturadas e processadas no local. Eventualmente, sua máquina de lavar pode ser equipada com um modelo de linguagem compacto, e você pode dizer a ela que está lavando uma carga mista e está preocupado com a lavagem de um suéter em água muito quente, sem precisar de conectividade com a internet para operar. Ao capturar e responder a essa entrada específica em tempo real localmente, esses modelos abrem novas possibilidades para interação personalizada com dispositivos. Os SLMs podem capacitar assistentes de voz, automação residencial inteligente e muito mais, reduzindo a dependência de dispositivos em serviços baseados em nuvem.

# A Evolução: Bioengenharia

**A computação atravessa a interface homem-máquina, aprofundando as mudanças em direção à IA e sensores onipresentes.**

A bioengenharia envolve o uso de técnicas de engenharia para construir sistemas e produtos biológicos, enquanto a biologia generativa (genBio) usa dados, computação e IA para prever ou criar novos insights biológicos. Em breve, a genBio servirá como uma entrada para gerar computacionalmente novos componentes biológicos, como proteínas, genes ou até mesmo organismos inteiros, simulando e prevendo como os elementos biológicos se comportam e interagem.

Esta convergência entre IA e biologia faz cada vez mais parte da conversa: na segunda metade do século

2024, foi um tema frequente durante os dias de analistas e investidores, bem como em apresentações públicas.

Na Goldman Sachs Communacopia + Technology Conference, o diretor de tecnologia da Microsoft, Kevin Scott, explicou que a convergência tecnológica "faria algumas descobertas ao longo dos anos que preenchem a lacuna entre o que estamos fazendo e o que a biologia sabe fazer". O CEO da NVIDIA, Jensen Huang, chama a "biologia digital" de "próxima revolução incrível para a IA". Empresas como a Ginkgo Bioworks usam o genBio para projetar e criar enzimas personalizadas que podem ser aplicadas em processos industriais. Por exemplo, algoritmos generativos ajudam a projetar enzimas que quebram moléculas complexas, como plásticos ou outros poluentes. A EvolutionaryScale é outra startup que usa o genBio para tornar a "biologia programável". Sua plataforma ESM3 usa "cadeia de estímulos de pensamento" para projetar o emGFP, uma nova versão de proteínas fluorescentes responsáveis pelas cores fortes de águas-vivas e corais. A empresa diz que a natureza levaria 500 anos para desenvolver uma proteína que ela criou em um piscar de olhos.

Estamos chegando mais perto de entender os segredos do genoma com avanços de IA direcionados à genBio. Um modelo de IA chamado Evo é capaz de discernir padrões nas notoriamente longas e complexas fitas de DNA que desafiam as abordagens atuais, permitindo a modelagem no nível do genoma inteiro, como o ChatGPT, mas em vez disso para organismos. O Evo usa a linguagem da biologia — DNA, RNA e proteínas — para fazer previsões, permitindo o design de tudo, desde moléculas até genomas completos. Ele até permite que cientistas gerem novos sistemas CRISPR para edição de genoma.

**Figura 5**  
**Número de novos materiais descobertos por meio de ferramentas de biologia generativa.**

LAB OR COMPANY	DISCOVERY
Pacific Northwest National Laboratory in partnership with Microsoft	32 million new candidate materials to accelerate the search for more efficient rechargeable battery material.
Johns Hopkins Applied Physics Lab	1+ million candidate materials and 200 samples designed for national security needs.
Materials Nexus	100 million rare-earth-free material compositions and one new rare-earth-free permanent magnet.
Massachusetts Institute of Technology	50 novel microstructure composites that balance stiffness and toughness efficiently.
DeepMind	2.2 million new crystals, including 421,000 stable materials that could power future technologies.

*Fonte: análise do Future Today Institute.*

## A Evolução: Bioengenharia

A bioengenharia tem o potencial de nos ajudar a transcender os sistemas de computação baseados em silício. Por exemplo, em 2021, um grupo de cientistas da Shanghai Jiao Tong University, na China, criou um computador de DNA programável capaz de executar bilhões de circuitos. Em vez de depender de estruturas tradicionais baseadas em microchips de silício, os computadores de DNA operam usando as mesmas moléculas que têm sido o meio da natureza para armazenar os projetos da vida por eras. Afinal, a biologia tem um código — ACTG — não muito diferente do código binário (1s e 0s) na computação convencional.

Uma vantagem fundamental do DNA programável é sua notável densidade de armazenamento de dados, teoricamente permitindo o armazenamento de até um exabyte de dados por milímetro cúbico. Ele tem a capacidade de encaixar trilhões de moléculas de DNA em uma gota d'água, permitindo computações paralelas massivas enquanto consome o mínimo de energia. Para ser justo, este novo computador de DNA leva horas para executar computações simples e não substituirá computadores comuns tão cedo. Mas a pesquisa é promissora para certas aplicações biomédicas. Por exemplo, uma máquina de DNA poderia detectar genes específicos e responder com uma fita de DNA que desencadeia reações biológicas, o que poderia ser útil no monitoramento ambiental ou no tratamento de doenças.

O que vem a seguir: persuadir o DNA a executar algoritmos complexos e diagnósticos de doenças. À medida que a bioengenharia, e a genBio junto com ela, amadurecem, teremos acesso a novas técnicas terapêuticas, novas maneiras de gerenciar as mudanças climáticas e novas maneiras de lidar com a escassez global de alimentos.

O mais impressionante é que os avanços nas três áreas de tecnologias de propósito geral, que compõem a inteligência viva podem ajudar a aliviar a escassez generalizada de chips de IA. Em algum momento na próxima década, essas tecnologias trabalharão junto com outra tecnologia revolucionária, a inteligência organoide (OI). A OI usa tecidos cultivados em laboratório, como células cerebrais

*À medida que a bioengenharia, e a genBio junto com ela, amadurecem, teremos acesso a novas terapias, novas maneiras de gerenciar as mudanças climáticas e novas maneiras de lidar com o armazenamento global de alimentos.*

e células-tronco, para criar computadores biológicos que imitam a estrutura e a função do cérebro humano. A técnica tem o potencial de superar sistemas baseados em silício para tarefas de IA intensivas em processamento.

Um organoide é basicamente uma pequena réplica de tecido que funciona como um órgão do corpo. Basicamente, os cientistas começam com um tipo especial de célula-tronco "em branco". Eles colocam essas células em uma mistura gelatinosa e começam a adicionar moléculas para empurrá-las para se tornarem células cardíacas, células cerebrais ou o que quer que elas queiram cultivar. Em 2021, pesquisadores do Cortical Labs em Melbourne, Austrália, fizeram um cérebro organoide em miniatura que funcionava como um computador. Eles o chamaram de DishBrain, o conectaram a alguns eletrodos e o ensinaram a jogar o videogame Pong dos anos 1980. O DishBrain é feito de cerca de 1 milhão de células cerebrais humanas e de camundongo vivas cultivadas em uma matriz microelétrica que pode receber sinais elétricos. Os sinais dizem aos neurônios onde a bola de Pong está localizada, e as células respondem. Quanto mais o sistema joga, mais ele melhora.

## A Evolução: Bioengenharia

A Cortical Labs está desenvolvendo um novo tipo de software, um sistema operacional de inteligência biológica, que permitiria que qualquer pessoa com habilidades básicas de codificação programasse seus próprios DishBrains. Demonstrações adicionais de novas formas simples de redes neurais feitas a partir da biologia estão chegando em breve. Já no final de 2023, um sistema de biocomputação feito de células cerebrais vivas aprendeu a reconhecer a voz de uma pessoa a partir de um conjunto de 240 cliques de áudio de pessoas diferentes pronunciando sons de vogais japonesas. Os cliques foram enviados aos organoides como sequências de sinais organizados em padrões espaciais.

Cientistas estão no processo de construção de circuitos biológicos, feitos de DNA sintético, e o software que os opera. Um programa chamado DNAr, desenvolvido na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, no Brasil, simula reações químicas, enquanto outro chamado DNAr-Logic permite que cientistas projetem circuitos. Uma descrição de alto nível de um circuito lógico é então convertida em uma descrição química em uma rede de reação, que pode ser sintetizada em cadeias de DNA. Acelerar drasticamente o processo de design de circuitos biológicos poderia reduzir drasticamente o tempo necessário para descobrir tratamentos de saúde e novos medicamentos. Os organoides não estão sendo desenvolvidos apenas para fins de pesquisa — eles já têm aplicações comerciais. A empresa suíça FinalSpark oferece serviços de computação baseados em nuvem usando organoides reais por meio de sua Neuroplataforma: um sistema de

16 organoides alojados em incubadoras microfluídicas, mantidas à temperatura corporal (37°C), que operam continuamente há mais de quatro anos. Esses organoides podem transmitir e receber sinais elétricos, aprender e executar tarefas por meio de estimulação elétrica. Os usuários também podem implementar estimulação química, como liberação de dopamina, para “recompensar” os organoides. Projetada para pesquisa em biocomputação e computação wetware, a plataforma apresenta uma API baseada em Python para interação com os organoides.

A FinalSpark afirma que seu sistema pode ser até um milhão de vezes mais eficiente em termos de energia do que os computadores tradicionais.

Por que se preocupar em inventar uma tecnologia que parece ter sido inspirada em um romance de ficção científica distópico? As cinco maiores empresas dos EUA que coletivamente gastaram mais em IA em 2023 acumularam uma conta de US\$ 105 bilhões.

Com as taxas de uso esperadas aumentando, essa conta pode aumentar para US\$ 187 bilhões nos próximos três anos. As demandas de energia dos data centers crescerão conforme o superciclo da tecnologia se intensifica. Até 2030, a demanda de energia deve crescer 160%. À medida que empresas, governos, a comunidade de pesquisa e consumidores exigem mais aplicativos, precisaremos de mais computadores e redes com uso intensivo de energia para processar todos esses dados.

Uma esperança é que a computação biológica seja capaz de executar todos esses tipos de tarefas usando uma fração dos recursos necessários de um computador tradicional.

# A Biologia Generativa é a Próxima Grande Disrupção Depois da IA Generativa

E se fosse possível gerar novas proteínas terapêuticas usando novas ferramentas computacionais amigáveis à IA, sem ter que descobri-las por tentativa e erro? Essa é a promessa da biologia generativa.

Por exemplo, a startup Generate Biomedicines, sediada em Boston, treinou uma IA para inventar proteínas com estruturas que, até onde sabemos, não existem em nenhum lugar da natureza. Inspirada pelo DALL-E 2, o poderoso sistema de IA de texto para imagem da OpenAI, a plataforma da Generate pede aos usuários que descrevam o formato, o tamanho e a função de uma proteína que gostariam de ver. Em seguida, ela usa modelagem de difusão para gerar uma estrutura com os aminoácidos certos dobrados corretamente para atender à descrição.

Nossa compreensão do genoma, juntamente com mecanismos moleculares e de rede fundamentais, agora está sendo aprimorada com ferramentas igualmente inovadoras que nos permitem interagir, examinar e manipular sistemas biológicos de novas maneiras:

## Biologia Espacial + IA

A biologia espacial é um campo emergente que espera obter uma compreensão mais profunda do corpo humano usando modelagem computacional e IA generativa. A biologia espacial usa dados no nível celular e molecular para mapear a arquitetura complexa das células, permitindo uma visão muito mais abrangente das interações celulares no nível atômico. Cada vez mais, a biologia espacial produzirá dados complexos, e as empresas precisarão de algoritmos avançados para ajudar a explorá-los em busca de insights. Assim como as imagens de super-alta resolução do Telescópio Espacial James Webb estão mudando nossa compreensão do universo, os avanços tecnológicos, a automação aprimorada e

capacidades sofisticadas de análise de dados que pesquisadores ganham com a biologia espacial transformarão nossa compreensão da vida. Por exemplo, a biologia espacial usada em diagnósticos e desenvolvimento de tratamentos pode inaugurar uma nova era de medicina de precisão.

## Bioimpressão Eletrônica

Em um desenvolvimento inovador que confunde as linhas entre biologia e tecnologia, pesquisadores da Lancaster University, sediada no Reino Unido, imprimiram com sucesso formas brilhantes em 3D dentro de vermes nematoides, demonstrando o potencial de incorporar eletrônicos diretamente em organismos vivos. A equipe usou uma impressora 3D fotônica e uma tinta especial que molda e ativa materiais dentro de um organismo. Ao alimentar os vermes nematoides com essa tinta, a equipe conseguiu criar circuitos condutores intrincados na forma de estrelas e quadrados. Essa técnica aponta para o potencial de melhorar os implantes eletrônicos tradicionais, como marcapassos e orelhas biônicas, que transformaram os tratamentos médicos, mas vêm com seu próprio conjunto de desafios, incluindo riscos de infecção e dificuldades de manutenção. O trabalho da equipe da Lancaster University é parte de uma tendência crescente na bioimpressão de implantes eletrônicos e interfaces computador-cérebro, que podem substituir os dispositivos médicos que usamos hoje.

## Bioimpressão e Engenharia de Tecidos

As doações de órgãos enfrentam escassez crítica e, até agora, o único caminho para o transplante de órgãos envolvia a correspondência com um doador, garantindo que a resposta imunológica do receptor não rejeite o órgão e mitigando o risco de infecção. Uma solução emergente é a bioimpressão de órgãos, que usa tecnologia de células-tronco para fabricar órgãos adaptados ao perfil celular do receptor e pode reduzir o risco de rejeição.

## A Evolução: Bioengenharia

Pesquisadores da Universidade de Stanford estão cultivando órgãos humanos dentro de biorreatores, que fornecem um ambiente biologicamente ativo onde células, tecidos ou microrganismos podem ser cultivados ou mantidos sob condições controladas. A equipe planeja cultivar todos os tipos de células necessárias para produzir um coração humano dentro do biorreator e, eventualmente, alimentar as células em uma bioimpressora para fabricar um coração humano totalmente funcional. Segundo algumas estimativas, os biorreatores podem produzir células necessárias aos bilhões e, eventualmente, imprimir um coração a cada duas semanas. Este ano, corações humanos impressos serão transplantados para porcos vivos para ver se eles podem manter os animais vivos. Enquanto isso, cientistas do Instituto Wyss da Universidade de Harvard desenvolveram uma nova técnica de bioimpressão 3D para tecido. Este método cria tecidos espessos e vascularizados usando células humanas vivas e um molde especial de silicone para moldar e dar suporte ao tecido em um chip.

### Fabricação de Organoides

É difícil e perigoso para os cientistas estudar como o tecido humano vivo responde a vírus, medicamentos ou outros estímulos, porque o tecido cerebral ou cardíaco não pode ser removido de uma pessoa viva. Em dezembro de 2023, cientistas da Weill Cornell Medicine usaram um modelo organoide para identificar um novo tratamento para câncer de pâncreas. Um mês depois, cientistas do Princess Máxima Center for Pediatric Oncology, na Holanda, cultivaram com sucesso pequenos organoides cerebrais em uma placa de tecido cerebral fetal humano. Os pequenos pedaços de tecido também podem ser reprogramados para ter certas doenças, a fim de estudar distúrbios do desenvolvimento ou cânceres cerebrais. Os cientistas já estão experimentando transplantes: em experimentos separados, pesquisadores de Stanford e da Universidade da Pensilvânia transplantaram com sucesso organoides cerebrais humanos em cérebros de ratos danificados. O organoide fez conexões com o resto do cérebro e respondeu a estímulos de luz piscante.

Experimentos como esses levantam preocupações éticas complexas e, talvez, medos de um dia em que super ratos que podem processar informações tão bem quanto humanos surgirão.

### Sistemas de Órgão em um Chip

Imagine algo como um chip de computador, mas com uma placa de circuito transparente, que está conectado a um sistema biológico bombeando um substituto de sangue através de pequenas bolhas de tecido. Os sistemas de órgãos em um chip (OoCs) são órgãos sintéticos feitos de tecnologia de cultura de células microfluídicas tridimensionais que promove funções de órgãos, processos e respostas fisiológicas. Pesquisadores na Coreia do Sul desenvolveram um sistema nervoso artificial que pode simular uma resposta consciente a estímulos externos. Ele inclui um circuito de neurônios artificiais, que age como um cérebro, um fotodiodo que converte luz em sinais elétricos e um transistor que age como uma sinapse. Todos esses componentes estão conectados a uma mão robótica. Pense nisso como "wetware" em vez de hardware de computador. Esse tipo de sistema pode ajudar pessoas com certas condições neurológicas a recuperar o controle de seus membros e pode eventualmente ser usado ou até mesmo incorporado. A Emulate, uma empresa que fabrica OoCs, testou 870 chips de fígado humano em um conjunto de 27 medicamentos com problemas de toxicidade conhecidos — e os chips fizeram um trabalho melhor de prever a segurança dos medicamentos do que os métodos usuais de estudo de interações medicamentosas.

# A Era da Inteligência Viva

Os sinais da convergência de IA, sensores avançados e biologia generativa estão se tornando mais claros. Embora os sinais possam ser sutis, eles podem ser vistos em investimentos, patentes como a Symbolic AI, que arrecadou US\$ 33 milhões com P&D. Embora os gastos por si só não garantam inovação, o sucesso será a receita que esses investimentos gerarão em um futuro próximo, à medida que as tecnologias amadurecem e alcancem US\$ 232 bilhões até 2024, começam a escalar. À medida que as receitas são realizadas, esses sinais se tornarão muito mais pronunciados. Por enquanto, confiamos nos benefícios à medida que transformam pontos de dados mais sutis de investimentos e modelos operacionais e ciclos de inovação.

Esse investimento não é isolado; faz parte de uma convergência tecnológica mais ampla que está inaugurando uma nova era.

Essa convergência já está impulsionando uma mudança significativa no capital de risco e nos gastos corporativos. Empresas como a EvolutionaryScale, que levantou US\$ 142 milhões da AWS e do braço de risco da Nesta era, à medida que os avanços na NVIDIA, destacam a crescente integração da IA na biotecnologia. Esses avanços abrangem vários campos, da descoberta de medicamentos à remediação ambiental, mostrando como a tecnologia cruzada de tecnologias está acelerando avanços.

Espera-se que a biologia generativa, impulsionada pela IA, gere eficiências nas ciências biológicas, reforçando ainda mais essa convergência.

O impacto da convergência se estende por todos os setores – da ciência dos materiais aos dispositivos conectados e à assistência médica. Por exemplo, a CuspAI levantou US\$ 30 milhões para desenvolver IA para ciência dos materiais, refletindo a crescente sobreposição entre IA e campos tradicionais como química. No setor de assistência médica, a Sword Health, especializada em cuidados musculoesqueléticos, garantiu US\$ 340 milhões em financiamento para IA e tecnologia de sensores conectados, demonstrando o rápido crescimento da assistência médica alimentada por IA.

A convergência também abrange tecnologias

de computação, particularmente em edge

mais claros. À medida que os avanços na

edge aumentam as capacidades dos sensores e

biotecnologia, cada avanço alimenta novas descobertas e

aplicações, acelerando o ritmo geral da

inovação.

Esse investimento não é isolado; faz parte de uma convergência tecnológica mais ampla que está inaugurando uma nova era.

Esse investimento não é isolado; faz parte de uma convergência tecnológica mais ampla que está inaugurando uma nova era.

Esse investimento não é isolado; faz parte de uma convergência tecnológica mais ampla que está inaugurando uma nova era.

*Esse investimento não é isolado; faz parte de uma convergência tecnológica mais ampla que está inaugurando uma nova era definida pela inteligência viva.*

## A Era da Inteligência Viva

À medida que a era da inteligência viva se desenvola, ela criará novos mercados e valor para os consumidores. O efeito volante impulsionará o aumento dos gastos do consumidor, o que, por sua vez, atrairá mais investimentos. Esse influxo de financiamento trará os melhores talentos, estimulando ainda mais a inovação. À medida que esse ciclo continua, os consumidores obterão maior valor das novas tecnologias, impulsionando ainda mais gastos, perpetuando assim o ciclo.

### *O efeito volante entre avanço tecnológico, atração de capital e aquisição de talentos acelera o ritmo da inovação, promovendo uma bioeconomia que transforma indústrias e a criação geral de valor.*

Esse crescimento na demanda também atrairá mais investimentos, à medida que os investidores seguem os fluxos de receita emergentes. Os efeitos de rede, onde o valor de um produto ou serviço aumenta à medida que mais usuários o adotam, são particularmente fortes em indústrias orientadas por tecnologia. Startups de bioengenharia, por exemplo, estão alavancando sensores avançados para monitorar processos biológicos em tempo real, levando a eficiências de custo e avanços em áreas como terapias baseadas em CRISPR. Essa convergência está criando um ecossistema onde cada inovação fortalece toda a rede, atraindo mais investidores à medida que soluções escaláveis e orientadas por dados se expandem exponencialmente. Paralelamente, o mercado global de sensores está permitindo a coleta de quantidades sem precedentes de dados em setores como assistência médica e agricultura.

Esses sensores alimentam grandes quantidades de informações em tempo real em sistemas de IA, que por sua vez fornecem análises e insights preditivos. Esse ciclo de feedback melhora continuamente os sistemas de IA à medida que as redes de sensores se expandem, permitindo que as empresas de bioengenharia optimizem processos e resultados. As empresas de investimento estão diversificando portfólios para capitalizar essa convergência, apostando nas sinergias entre IA, bioengenharia e tecnologias de sensores para gerar retornos exponenciais. Por exemplo, a bioengenharia orientada por IA combinada com sensores vestíveis está permitindo o monitoramento de saúde em tempo real, projetado para exceder US\$ 87 bilhões até 2026. Os primeiros investidores podem esperar ganhos significativos de longo prazo com essa convergência.

Esses avanços não melhoram apenas a produtividade; eles elevam a qualidade da produção, criando produtos e serviços ainda mais atraentes. Esse ciclo contínuo de inovação atrai mais gastos do consumidor, o que, por sua vez, sinaliza maiores retornos potenciais para os investidores, garantindo que o financiamento flua de volta para o sistema.

O efeito volante entre avanço tecnológico, atração de capital e aquisição de talentos acelera o ritmo da inovação, promovendo uma bioeconomia que transforma indústrias e melhora a criação geral de valor.

Já estamos vendo os sinais de convergência em tecnologias de inteligência viva em vários setores de ponta. A adoção antecipada está acontecendo mais intensamente em setores como farmacêutico, produtos médicos, assistência médica, espaço, construção e engenharia, bens de consumo embalados e agricultura. Mas as aplicações estão chegando a outros setores em breve, criando novos “espaços em branco” de oportunidade em setores como serviços financeiros. À medida que setores adicionais embarcam, a inovação se dispersará muito mais amplamente, alimentando efeitos de volante adicionais.

## A Era da Inteligência Viva

### Como a convergência de inteligência viva funciona na prática

Vemos cinco características das tecnologias convergentes de living intelligence que as tornam diferentes das tecnologias que vieram antes. O gráfico a seguir ilustra as principais mudanças em sinergias, flexibilidade, escala, inovação e transformação antes e depois da convergência.

A inteligência viva é uma força de tremenda mudança. Com essa mudança, vem uma oportunidade sem precedentes.

As organizações que dão o salto em direção ao futuro que acontece em todos os lugares ao nosso redor aproveitarão essa oportunidade para um crescimento exponencial.

	BEFORE CONVERGENCE	SYNERGIES	AFTER CONVERGENCE
1	<b>SYNERGIES</b> Converged technologies are more than the sum of their parts. They create new value through the integration of previously distinct technologies, leading to exponential benefits.	Technologies operate in silos, with value delivered narrowly in isolated functions or industries.	Technologies become seamlessly integrated, and the resulting synergies unlock new capabilities, efficiencies, and value creation.
2	<b>FLEXIBILITY</b> Converged technologies are designed to adapt and evolve more easily with changing customer needs, business environments, and tech advancements.	Individual technologies require specific use cases or rigidly defined environments in which to operate.	Organizations enjoy greater flexibility in deployment and customization.
3	<b>SCALE</b> Converged technologies can be scaled with more impact and often at lower incremental costs.	Scaling individual technologies results in higher costs with less efficiency.	Network effects compound value, while new platforms allow for faster scaling at lower costs.
4	<b>INNOVATION</b> Converged technologies accelerate innovation cycles and can reduce the time it takes for new products and services to enter the market as enthusiasm, funding, and shared infrastructure increase.	Siloed development translates into longer innovation cycles and lengthy integrations.	Rapid experimentation and iteration allow for faster prototyping and scaling.
5	<b>TRANSFORMATION</b> Converged technologies have the power to disrupt entire end-to-end value chains, because they lead to new solutions that were previously unachievable.	Incremental innovation is limited to improving efficiencies or expanding features of existing products.	Radical innovation disrupts markets, creates new value chains, and redefines industries.

# Um apelo à ação

As pessoas que vivem hoje estão vivenciando uma mudança importante — o que chamamos de grande transição. A sociedade vai parecer muito diferente quando a transição estiver completa. Novas capacidades e mentalidades serão necessárias para dar o salto.

## ***Você está pensando de forma ampla o suficiente sobre o impacto potencial da inteligência viva?***

A pesquisa do Future Today Institute sugere que a convergência de IA, sensores avançados e bioengenharia pode revolucionar as indústrias, não apenas automatizando cerca de metade das atividades comerciais atuais muito antes do projetado anteriormente, mas também inaugurando novos produtos, serviços e campos inteiros. A inteligência viva combina o poder cognitivo da IA, captura de dados em tempo real de sensores avançados e inovações em bioengenharia para remodelar o futuro do trabalho, redefinindo tarefas, papéis e responsabilidades em vários setores. Também mudará como e onde o valor é criado. Por esse motivo, os líderes executivos devem considerar como seus modelos de negócios podem ser profundamente interrompidos ou potencialmente aprimorados.

## ***Quais são as implicações organizacionais da inteligência viva?***

Em vez de explorar passivamente casos de uso em potencial, os líderes devem adotar uma abordagem proativa e estratégica. Eles precisam avaliar como a IA, os dados do sensor e a bioengenharia podem convergir para fornecer valor imediato e se preparar para aplicações de longo prazo. À medida que a convergência evolui, as empresas precisarão empreender uma nova transformação digital. Esse processo deve incluir a criação de uma estratégia de longo prazo, um mapa de rede de valor expandido e um plano de execução abrangente. Quais funções de negócios podem se beneficiar mais dessa convergência agora e quais podem ser transformadas nos próximos seis a 12 meses?

Líderes que antecipam desenvolvimentos e usam previsão estratégica para planejar o crescimento ganharão uma vantagem competitiva.

## ***Qual é o impacto da inteligência viva na rede de valor da organização?***

Onde estão as oportunidades de inovação e crescimento? O que pode ameaçar a capacidade da organização de prosperar? Quais são os riscos posteriores para parceiros ou clientes? Entender como a inteligência viva se encaixa em uma rede de valor existente pode aumentar significativamente a capacidade de inovação e geração de valor de uma organização por meio da identificação mais rápida de oportunidades de crescimento, parcerias mais fortes e uma rede mais resiliente, capaz de se adaptar a interrupções. Como resultado, as empresas podem melhorar a satisfação do cliente, reduzir custos operacionais e impulsivar a criação de valor de longo prazo em toda a cadeia de valor. Priorizar essa transformação posiciona as empresas para superar os concorrentes em um cenário em rápida evolução.

## ***A organização conta com os sistemas corretos de gestão de talentos e riscos?***

Os líderes devem avaliar sua estratégia de talentos para garantir que tenham acesso a expertise multidisciplinar em IA, bioengenharia e tecnologias de sensores. Além disso, conforme a adoção de inteligência viva se expande, eles devem estabelecer estruturas de supervisão robustas para gerenciar potenciais riscos éticos, como privacidade de dados e viés algorítmico, que surgem da integração de dados biológicos e IA.

## Como preparar sua organização para a grande transição.

Embora a inteligência viva possa parecer uma ideia futurística, CEOs e líderes empresariais com visão de futuro não podem se dar ao luxo de esperar. O ritmo rápido de avanço nessas tecnologias exige ação imediata para permanecer competitivo. Ao tomar as seguintes medidas com urgência, os líderes podem capturar vantagens iniciais e ficar à frente das interrupções do setor.

### 1. Desmistificar a inteligência viva para toda a organização

Líderes seniores devem se familiarizar com as complexidades da inteligência viva — como a IA, os dados de sensores e a bioengenharia interagem — para liderar e educar a força de trabalho com confiança. Isso envolverá promover uma cultura de inovação e transparência, especialmente ao abordar quaisquer preocupações em torno das implicações éticas da integração de dados de biosensores ou do potencial da automação orientada por IA para substituir empregos.

### 2. Desenvolver cenários pragmáticos para disruptão e nova geração de valor.

Os líderes devem desenvolver cenários para usar e dimensionar tecnologias, processos e produtos de inteligência viva. As empresas devem usar a previsão estratégica para entender como o ecossistema de inteligência viva em evolução pode ter um impacto em seus produtos e processos existentes. Priorize o monitoramento, a ação e a tomada de decisões ágeis para se adaptar à convergência. À medida que a convergência evolui, as empresas precisarão empreender uma nova transformação digital, que deve incluir a criação de uma nova visão para a organização, uma estratégia de longo prazo, um mapa de rede de valor expandido e um plano de execução abrangente.

### 3. Identifique dois ou três usos de alto impacto em casos — e comece agora mesmo.

Os líderes devem identificar casos de uso específicos onde a inteligência viva pode causar o impacto mais significativo, seja revolucionando o gerenciamento da cadeia de suprimentos com dados de sensores em tempo real, usando IA para melhorar os resultados dos pacientes na área da saúde ou aplicando bioengenharia para otimizar o produto em desenvolvimento. Ao escolher pilotos com o maior potencial de escalabilidade, os líderes podem acelerar a adoção de inteligência viva e começar a integrar essas tecnologias em fluxos de trabalho diários.

### 4. Comprometa-se a desenvolver o necessário em funções, habilidades e capacidades

A convergência de IA, sensores avançados e bioengenharia exigirá um novo conjunto de habilidades em toda a organização. Os líderes devem priorizar iniciativas de requalificação e qualificação para preparar os funcionários para trabalhar efetivamente junto com essas tecnologias. Além disso, eles devem avaliar continuamente suas necessidades de talentos em evolução à medida que novas aplicações de inteligência viva surgem.

### 5. Monitorar mudanças regulatórias e estar preparado para a incerteza política.

A convergência desencadeará inúmeras inovações e exigirá agilidade sem precedentes das empresas, especialmente dada a atual abordagem regulatória fragmentada. Os líderes devem capacitar suas organizações a experimentar novos produtos e processos e garantir que eles moldem seus próprios futuros em vez de serem compelidos a se adaptar a inovações externas ou reagir a mudanças regulatórias.

A inteligência viva é uma força de tremenda mudança. Com essa mudança, vêm uma ruptura e uma oportunidade sem precedentes. As organizações que dão o salto em direção ao futuro que acontece em todos os lugares ao nosso redor aproveitarão essa oportunidade para um crescimento exponencial.

# Fontes selecionadas

“Um agente generalista.” <https://www.deeppmind.com/publications/a-generalist-agent>.  
Acemoglu, Daron e Pascual Restrepo. “Automação e novas tarefas: como a tecnologia desloca e reinstala o trabalho.” *Journal of Economic Perspectives* 33, no. 2 (maio de 2019): 3–30. <https://doi.org/pt/doi/10.1016/j.jep.2016.10.1257/give.33.2.3>.

—. “Automação de baixa e alta qualificação.” *Journal of Human Capital* 12, no. 2 (junho de 2018): 204–32. <https://doi.org/pt/doi/10.1016/j.jch.2018.06.002>.  
Agarwal, Nikhil, Alex Moehring, Pranav Rajpurkar e Tobias Salz. “Combinando a expertise humana com a inteligência artificial: Evidência Experimental da Radiologia.” Documento de Trabalho. Série de Documentos de Trabalho. National Bureau of Economic Research, julho de 2023. <https://doi.org/10.3386/w31422>.  
Agrawal, Ajay, Joshua S. Gans e Avi Goldfarb. “Inteligência Artificial: O Impacto Ambíguo da Automação da Previsão no Mercado de Trabalho.” *Journal of Economic Perspectives* 33, n.º 2 (maio de 2019): 31–50. <https://doi.org/10.1257/jep.33.2.31>.  
“Amazon compra centro de dados movido a energia nuclear da Talen.” <https://www.ans.org/news/article-5842/amazon-buys-nuclear-powered-centro-de-dados-da-talen/>.  
Baker, Dr. Nathan. “Desbloqueando uma nova era para a descoberta científica com IA: como a IA da Microsoft examinou mais de 32 milhões de candidatos para encontrar uma bateria melhor.” Microsoft Azure Quantum Blog, 9 de janeiro de 2024. [https://azure.microsoft.com/en-us/blog/quantum/2024/01/09/desbloqueando-uma-nova-era-para-descoberta-cientifica-com-ai-how-](https://azure.microsoft.com/en-us/blog/quantum/2024/01/09/desbloqueando-uma-nova-era-para-descoberta-cientifica-com-ai-how/)  
A Microsoft selecionou mais de 32 milhões de candidatos para encontrar um melhor bateria.  
Barrero, José María, Nicholas Bloom e Steven J. Davis. “A evolução do trabalho em casa.” *Journal of Economic Perspectives* 37, no. 4 (novembro de 2023): 23–50. <https://doi.org/10.1257/dá37.4.23>.  
“Estrutura e função biológicas emergem da escala de aprendizado não supervisionado para 250 milhões de sequências de proteínas.” *PNAS*. <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2016239118>.  
Bresnahan, Timothy. “Capítulo 18 - Tecnologias de Propósito Geral.” Em *Handbook of the Economics of Innovation*, editado por Bronwyn H. Hall e Nathan Rosenberg, 2:761–91. Manual de Economia da Inovação, Volume 2. Holanda do Norte, 2010. [https://doi.org/10.1016/S0169-7218\(10\)02002-2](https://doi.org/10.1016/S0169-7218(10)02002-2).

Bresnahan, Timothy F., e M. Trajtenberg. “Tecnologias de propósito geral ‘motores de crescimento?’” *Journal of Econometrics* 65, no. 1 (1 de janeiro de 1995): 83–108. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01598-T](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01598-T).  
Brynjolfsson, Erik, Daniel Rock e Chad Syverson. “A curva J da produtividade: como os intangíveis complementam as tecnologias de propósito geral.” *American Economic Journal: Macroeconomia* 13, no. 1 (janeiro de 2021): 333–72. <https://doi.org/10.1257/mac.20180386>.  
Carnegie Endowment for International Peace. “O modelo do Vale do Silício e as trajetórias tecnológicas em contexto.” <https://carnegieendowment.org/research/2024/01/the-silicon-valley-modelo-e-trajetorias-tecnologicas-em-contexto?lang=pt>.  
Cook, Tim. “Apple Q3 2024 Earnings Call.” Apresentado na Apple Inc. - Q3 2024 Earnings Call, 1º de agosto de 2024.  
Crafts, Nicholas. “Steam como uma tecnologia de propósito geral: uma perspectiva de contabilidade de crescimento.” *The Economic Journal* 114, no. 495 (1 de abril de 2004): 338–51. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0297.2003.00200.x>.  
Cvek, Martin, Uttam C. Paul, Jasim Zia, Giorgio Mancini, Vladimir Sedlarik e Athanassia Athanassiou. “Películas biodegradáveis de PLA/PPC e curcumina como materiais de embalagem e indicadores inteligentes de deterioração de alimentos.” *ACS Applied Materials & Interfaces* 14, nº 12 (março 2022): 14654–67. <https://doi.org/10.1021/acsami.2c02181>.  
Damioli, Giacomo, Vincent Van Roy e Daniel Vertes. “O impacto da inteligência artificial na produtividade do trabalho.” *Eurasian Business Review* 11, n.º 1 (1 de março de 2021): 1–25. <https://doi.org/10.1007/s40821-020-00172-8>.  
DeepMind. “Colocando o poder do AlphaFold nas mãos do mundo.” <https://deepmind.com/blog/article/putting-the-power-of-alpha-fold-nas-maos-do-mundo>.  
Eloundou, Tyna, Sam Manning, Pamela Mishkin e Daniel Rock. “GPTs são GPTs: uma análise inicial do potencial de impacto no mercado de trabalho de modelos de grandes linguagens.” *arXiv*, 21 de agosto de 2023. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.10130>.  
“Roteiro de padronização alemão sobre inteligência artificial – 2ª edição”, n.d.

## Fontes selecionadas

- Howell, David. “Os custos de construção de plataformas de IA generativas estão aumentando.” ITPro, 24 de agosto de 2023. <https://www.itpro.com/technology/artificial-intelligence/the-costs-of-building-generative-ai-platforms-are-racking-up>.
- IDC. “Novo guia de gastos da IDC prevê que os investimentos em computação de ponta atingirão US\$ 232 bilhões em 2024.” <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS51960324>.
- Inc, FactSet Research Systems. “Segundo maior número de empresas do S&P 500 citando ‘IA’ em teleconferências de resultados nos últimos 10 anos.” <https://insight.factset.com/second-highest-number-of-sp-500-companies-citando-ia-em-chamadas-de-lucros-nos-ultimos-10-anos>.
- Jones, Ash. “Mercado de tecnologia agrícola deve subir para US\$ 22,5 bilhões até 2025, segundo relatório.” Industry Europe, 23 de novembro de 2020. <https://Industryeurope.com/api/content/4ebd53b2-2d6f-11eb-8faf-1244d5f7c7c6/>.
- Kim, Hyunho, Eunyoung Kim, Ingoo Lee, Bongsung Bae, Minsu Park e Hojung Nam. “Inteligência Artificial na Descoberta de Medicamentos: Uma revisão abrangente das abordagens de aprendizado de máquina e orientadas a dados.” *Biotechnology and Bioprocess Engineering* 25, no. 6 (1 de dezembro de 2020): 895–930. <https://doi.org/10.1007/s12257-020-0049-y>.
- Mullard, Asher. “Novos Medicamentos Custam US\$ 2,6 Bilhões para Desenvolver.” *Nature Reviews Drug Discovery* 13, n.º 12 (1 de dezembro de 2014): 877–877. <https://doi.org/10.1038/nrd4507>.
- Neal, Derek e Armin Rick. “The Prison Boom and the Lack of Black Progress after Smith and Welch.” [O boom prisional e a falta de progresso negro após Smith e Welch]. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, julho de 2014. <https://doi.org/10.3386/w20283>.
- NHS Blood and Transplant. “Primeiro ensaio clínico de células sanguíneas vermelhas cultivadas em laboratório sendo transfundidas para outra pessoa.” <https://www.nhsbt.nhs.uk/news/first-ever-clinical-trial-of-gllobulos-vermelhos-cultivados-em-laboratorio-sendo-transfundidos-para-outropessoa/>.
- Nijkamp, Eric, Jeffrey Ruffolo, Eli N. Weinstein, Nikhil Naik e Ali Madani. “ProGen2: Explorando os limites dos modelos de linguagem de proteínas.” arXiv, 27 de junho de 2022. [arXiv.2206.13517](https://arxiv.org/abs/2206.13517).
- Northzone. “Nosso investimento na CuspAI: pioneirismo em materiais projetados por IA para combater as mudanças climáticas.” Northzone (blog), junho 18 de outubro de 2024. <https://northzone.com/2024/06/18/our-investment-in-cuspai-pioneiro-em-materiais-de-ai-projetados-para-combater-o-clima-mudar/>.
- Noy, Shakked e Whitney Zhang. “Evidências experimentais sobre os efeitos de produtividade da inteligência artificial generativa.” *Ciência* 381, no. 6654 (14 de julho de 2023): 187–92. <https://doi.org/10.1126/ciencia.adh2586>.
- “Alimentando a inteligência: analisando a inteligência artificial e o consumo de energia do data center.” <https://www.epri.com/research/products/3002028905>.
- “ProT-VAE: AutoEncoder Variacional de Transformador de Proteína para Design de Proteína Funcional.” *BioRxiv*. <https://www.biorxiv.org/conteudo/10.1101/2023.01.23.525232v1>.
- Pyzer-Knapp, Edward O., Jed W. Pitera, Peter W. J. Staar, Seiji Takeda, Teodoro Laino, Daniel P. Sanders, James Sexton, John R. Smith e Alessandro Curioni. “Acelerando a descoberta de materiais usando inteligência artificial, computação de alto desempenho e robótica.” *Npj Computational Materials* 8, no. 1 (26 de abril de 2022): 1–9. <https://doi.org/pt/doi/10.1090/10org/10.1038/s41524-022-00765-z>.
- Rahman, Md. Ashrafur, Evangelos Victoros, Julianne Ernest, Rob Davis, Yeasna Shanjana e Md. Rabiul Islam. “Impacto da Tecnologia de Inteligência Artificial (IA) no Setor de Saúde: Uma Avaliação Crítica de Ambos os Lados da Moeda.” *Patologia Clínica* 17 (22 de janeiro de 2024): 2632010X241226887. <https://doi.org/10.1177/2632010X241226887>.
- Scott, Andrew J. “The Longevity Economy.” *The Lancet Healthy Longevity* 2, n.º 12 (1 de dezembro de 2021): e828–35. [https://doi.org/10.1016/j.org/10.1016/S2666-7568\(21\)00250-6](https://doi.org/10.1016/j.org/10.1016/S2666-7568(21)00250-6).
- Shwartz-Ziv, Ravid e Amitai Armon. “Dados tabulares: aprendizado profundo não é tudo o que você precisa.” *arXiv*, 23 de novembro de 2021. <http://arxiv.org/abs/2106.03253>.
- “Estado dos Mercados H2 2024,” n.d.
- “As últimas estatísticas de computação em nuvem (atualizado em junho de 2024) | Suporte de TI da AAG.” <https://aag-it.com/the-latest-cloud-computing-estatisticas/>.
- “A Economia da Longevidade - The Lancet Healthy Longevity.” <https://www.thelancet.com/journals/lanhl/article/PIIS2666-7568%2821%2900250-6/texto completo#bib20>.
- A Casa Branca. “Ordem Executiva sobre o Avanço da Biotecnologia e Inovação em Biofabricação para uma Bioeconomia Americana Sustentável, Segura e Protegida.” A Casa Branca, 12 de setembro de 2022. <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-ações/2022/09/12/ordem-executiva-sobre-o-avanço-da-biotecnologia-e-biofabricação-inovação-para-um-sustentável-seguro-e-bioeconomia-americana-segura/>.
- Fórum Econômico Mundial. “Como podemos entregar um amanhã melhor por meio da biologia generativa”, 28 de maio de 2024. <https://www.weforum.org/agenda/2024/05/overcome-barriers-to-generative-biology/>.
- Zuckerberg, Mark. “Meta Q1 2024 Earnings Call.” Apresentado na Meta Platforms, Inc. - Q1 2024 Earnings Call, 24 de abril de 2024.

# Autores



## Amy Webb

Diretora Executiva Future Today Institute Como fundadora e CEO do Future Today Institute (FTI), Amy foi pioneira em uma abordagem única de modelagem quantitativa e metodologia de previsão baseada em dados que identifica sinais de mudança e padrões emergentes muito cedo. Usando essas informações, Amy e seus colegas identificam espaços em branco, oportunidades e ameaças cedo o suficiente para ação. Eles desenvolvem cenários preditivos, juntamente com estratégias executáveis, para empresas em todo o mundo. Além disso, Amy é regularmente solicitada a aconselhar formuladores de políticas na Casa Branca, Congresso, agências reguladoras dos EUA, União Europeia e Nações Unidas. Em 2023, Amy foi reconhecida como a 4<sup>a</sup> pensadora de gestão mais influente do mundo pelo Thinkers50, um ranking semestral de pensadores de negócios globais. Com especializações em pesquisa em IA e biologia sintética, Amy é autora de quatro livros que foram traduzidos para 19 idiomas. Ela desenvolveu e leciona o Strategic Foresight Course na NYU Stern School of Business.



## Sam Jordan

Computação e Tecnologia Avançada lideram Future Today Institute Sam Jordan é a líder de prática de Computação e Tecnologia Avançada no Future Today Institute. Sua pesquisa se concentra no futuro da computação – de sistemas de grande escala a como interagimos com dispositivos pessoais. Ela trabalhou com algumas das maiores empresas de tecnologia do mundo para explorar o futuro da interação humano-computador, desenvolver estratégias de IA e moldar a evolução dos fatores de forma dos dispositivos. Ela atua como coach no Strategic Foresight MBA Course na NYU Stern School of Business e é Emergent Ventures Fellow no Mercatus Center.

---

**Gostaríamos de agradecer a Anne Kavalerchik, candidata a doutorado duplo em Sociologia e Informática na Universidade de Indiana, por suas valiosas contribuições à análise de dados deste artigo.**

# Metodologia

Nossa pesquisa combina análise qualitativa e quantitativa aprofundada para avaliar como a inteligência artificial, a bioengenharia e os sensores avançados estão sendo integrados aos negócios e à vida cotidiana. Reunimos dados de uma variedade de fontes, incluindo registros de patentes, publicações científicas, rodadas de investimentos, indicadores macroeconômicos e tendências de pesquisa online. Usando nosso sistema proprietário, identificamos padrões e agrupamos dados em nós, que foram então avaliados por meio de métricas padronizadas. Essa abordagem nos permitiu rastrear avanços tecnológicos e seu impacto econômico em todos os setores e geografias.

Nós nos concentramos em métricas-chave, como capitalização de mercado e investimentos, ganhos de produtividade e mudanças de emprego para entender as implicações econômicas mais amplas. Dados de investimento de 2019 até o presente foram analisados para rastrear o financiamento em IA, bioengenharia e sensores avançados, enquanto as métricas de produtividade avaliaram como essas tecnologias melhoraram a eficiência em todos os setores. As tendências de emprego foram examinadas para quantificar a criação de novos empregos diretamente vinculados a essas tecnologias, e sua contribuição para o PIB foi modelada nas principais economias, incluindo os EUA, a China e a UE.

Embora nossa metodologia seja rigorosa, há limitações inerentes devido à disponibilidade de dados e fatores externos. Alguns conjuntos de dados, particularmente aqueles relacionados a rodadas de investimento ou emprego, podem ter defasagens ou vieses regionais. Além disso, a natureza em rápida evolução da IA, bioengenharia e sensores avançados significa que certas tendências podem mudar abruptamente, necessitando de monitoramento e ajustes contínuos em nossos modelos.

# Sobre o Future Today Institute

O Future Today Institute é uma empresa de consultoria de gestão especializada em previsão estratégica, uma prática orientada por dados para desenvolver cenários futuros plausíveis. À medida que organizações em todo o mundo lutam com um clima de negócios cada vez mais volátil e incerto, a FTI fornece clareza por meio de planejamento estratégico de longo prazo. Sua equipe de especialistas no assunto combina as melhores tendências e pesquisas tecnológicas com estratégias acionáveis para gerar impacto nos negócios. Nas duas décadas desde sua fundação, a FTI se tornou a consultoria de previsão preeminente para empresas da Fortune 500, grandes governos e outras organizações globais — capacitando líderes a tomar melhores decisões sobre o futuro, hoje.

**Para mais informações, entre em contato  
conosco em  
[inquiries@futuretodayinstitute.com](mailto:inquiries@futuretodayinstitute.com)  
+1.267.342.4300.  
[futuretodayinstitute.com](http://futuretodayinstitute.com)**

