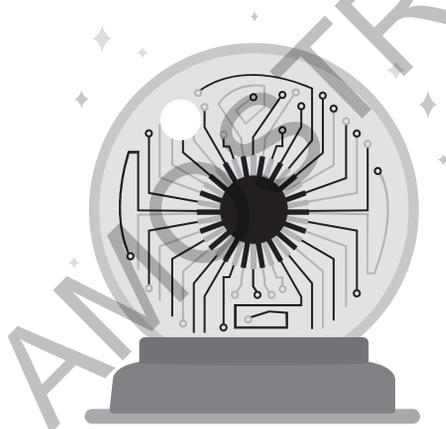


Poder e Predição



A Economia Disruptiva da Inteligência Artificial

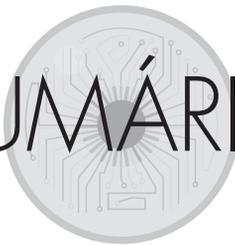
AJAY
AGRAWAL

JOSHUA
GANS

AVI
GOLDFARB



ALTA BOOKS
GRUPO EDITORIAL
Rio de Janeiro, 2024



SUMÁRIO

Agradecimentos	xi
Sobre os Autores	xiii
PREFÁCIO: SUCESSO À VISTA?	xv

PARTE UM

O Tempo Entre os Tempos

1. A Parábola dos Três Empreendedores	3
2. O Futuro dos Sistemas de IA	13
3. A IA é uma Tecnologia de Predição	25

PARTE DOIS

Regras

4. Decidir ou Não Decidir?	39
5. Incerteza Oculta	51
6. Regras São Colas	61

PARTE TRÊS

Sistemas

- | | |
|---|----|
| 7. Sistemas Ressecados Versus Sistemas Lubrificados | 73 |
| 8. Mentalidade de Sistema | 83 |
| 9. O Melhor Sistema de Todos | 95 |

PARTE QUATRO

Poder

- | | |
|----------------------------|-----|
| 10. Disrupção e Poder | 105 |
| 11. As Máquinas Têm Poder? | 115 |
| 12. Acumulando Poder | 125 |

PARTE CINCO

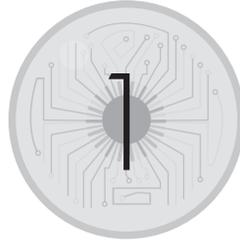
Como a IA É Disruptiva

- | | |
|-------------------------------|-----|
| 13. A Melhor Dissociação | 139 |
| 14. Pensamento Probabilístico | 151 |
| 15. Os Novos Juízes | 163 |

PARTE SEIS

Previendo Novos Sistemas

- | | |
|--------------------------------------|-----|
| 16. Projetando Sistemas Confiáveis | 179 |
| 17. Uma Lousa em Branco | 191 |
| 18. Antecipando a Mudança do Sistema | 205 |
| Posfácio: Viés e Sistemas de IA | 219 |
| Notas | 231 |
| Índice | 249 |



A Parábola dos Três Empreendedores

A eletricidade mudou nossa sociedade. Mudou a maneira como vivemos, fornecendo luz barata e segura com o apertar de um botão, e reduziu a carga do trabalho doméstico por meio de bens de consumo como geladeiras, máquinas de lavar e aspiradores de pó. Também mudou o modo como trabalhamos, abastecendo fábricas e elevadores. E o que foi preciso para fazer tudo isso? Tempo.

A onipresença da eletricidade em nossos dias torna difícil imaginar que na virada do século XX, duas décadas depois de Thomas Edison ter inventado a lâmpada, não fosse possível encontrá-la em praticamente lugar algum. Em 1879, Edison demonstrou a famosa lâmpada elétrica e, apenas alguns anos depois, ligou a Pearl Street Station em Manhattan, iluminando as ruas. No entanto, vinte anos depois, apenas 3% dos lares norte-americanos tinham eletricidade. Nas fábricas, havia um pouco mais (veja a Figura 1-1). No entanto, duas décadas depois, esse número acelerou para metade da população. Para a eletricidade, esses quarenta anos foram os tempos intermediários, o tempo entre os tempos.

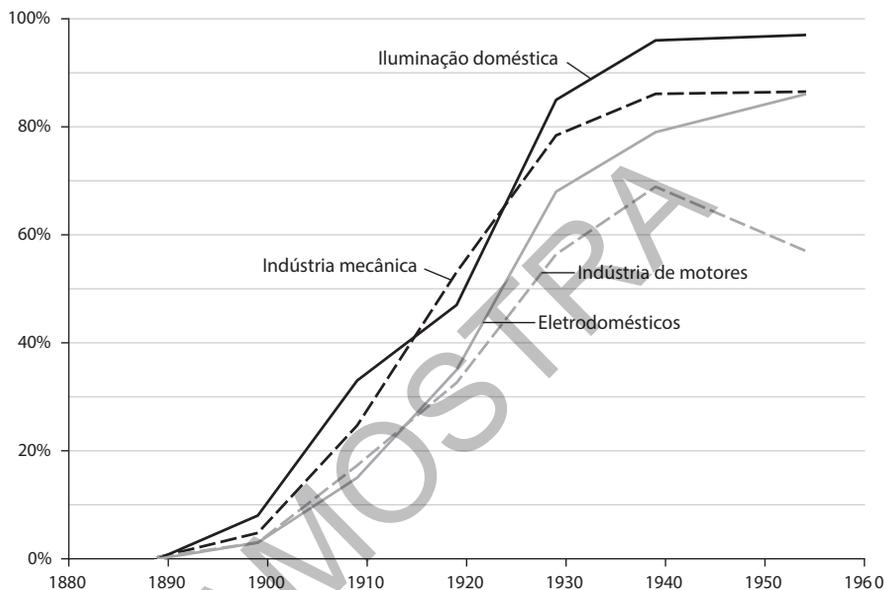
Havia muito entusiasmo pela eletricidade, mas não muito a se mostrar sobre ela. Tendemos a esquecer isso quando novas tecnologias radicais surgem.

4 O Tempo Entre os Tempos

Quando uma nova luz acende, ao invés de tudo mudar, pouco muda. A luz da IA está acesa. Mas ainda precisamos fazer mais. Estamos agora no período intermediário da IA – entre a demonstração da capacidade da tecnologia e a realização do que ela promete refletida na sua popularização.

FIGURA 1-1

Adoção do uso de eletricidade pela população dos EUA



Fonte: Dados de Paul A. David, "Computer and Dynamo: The Modern Productivity Paradox in a Not-Too-Distant Mirror" (artigo 339, Universidade de Stranford, Departamento de Economia, 1989), [twerp339.pdf \(warwick.ac.uk\)](http://twerp339.pdf(warwick.ac.uk)).

Para a IA, esse futuro ainda é incerto. Mas já tivemos um exemplo com o padrão da eletricidade. Então, para entender os desafios enfrentados pela comercialização da IA, coloque-se no lugar dos empreendedores de 1880. A eletricidade é o futuro! Como você planejaria fazer isso acontecer?

O Empreendedor das Soluções Pontuais

O vapor impulsionou a economia na segunda metade do século XIX. O carvão era usado para aquecer a água, que gerava energia, que era imediatamente aplicada nas alavancas de acionamento, polias e correias, que, por sua

vez, permitiam a produção industrial. O vapor foi o milagre que impulsionou a maior revolução econômica desde a agricultura. Portanto, um empresário que quisesse vender eletricidade teria que encorajar possíveis clientes a examinar mais de perto a energia a vapor e identificar suas falhas.

Quando colocadas lado a lado com a eletricidade, as falhas não eram difíceis de ver. O vapor dissipava calor — que era o objetivo —, mas muito desse calor era desperdiçado. A energia a vapor perdia entre 30% e 85% do seu potencial por causa da condensação, das válvulas com vazamento e da fricção durante o uso do eixo e das correias para transportar objetos para as bancadas de trabalho.¹ O sistema de eixo pode ser difícil de imaginar, mas pense em uma fonte de energia a vapor [um grande forno e uma grande caldeira] em uma extremidade com uma roldana girando um longo eixo de ferro ou aço de quatro milímetros que permitia que correias e polias operassem ao longo da corda. Alguns sistemas de eixo podiam ser horizontais, mas muitas fábricas tinham vários andares com sistemas em configuração vertical. Um único eixo poderia alimentar centenas de teares, por exemplo.

A oportunidade imediata para a eletricidade seria fornecer uma fonte alternativa de energia no mesmo ponto em que a energia a vapor era usada — no final do sistema. Frank Sprague, um ex-funcionário de Edison, percebeu isso em 1886, quando desenvolveu um dos primeiros motores elétricos. Enquanto Edison focava luz, Sprague estava entre aqueles que perceberam que a energia elétrica diurna seria barata e os motores elétricos poderiam tirar proveito disso. Ele usou seus insights para alimentar bondes e construir elevadores. Outros levaram os motores para as fábricas.

Chamamos isso de “soluções pontuais”, porque esses inventores pegavam vapor e o trocavam pela nova fonte de energia, a eletricidade, no ponto de entrada das fábricas da época. Os empreendedores de soluções pontuais do final do século XIX encontraram dois tipos de potenciais clientes dispostos a ver a eletricidade como uma nova fonte de energia. O primeiro tipo era o dos que utilizavam os grandes moinhos movidos a vapor. Uma fábrica na Columbia, Carolina do Sul, desistiu do vapor em favor da energia elétrica em 1893. A energia hidrelétrica era um substituto simples para um sistema de transmissão por cabo. A energia fornecida era a mais barata do país.² O segundo tipo era o dos fabricantes de confecções e têxteis. Duas das falhas do vapor eram sua falta de limpeza e as possíveis inconsistências na velocidade gerada pela energia. A eletricidade melhorou a qualidade em ambas as dimensões.

O valor prometido pelos empreendedores de soluções pontuais era custo mais baixo e outros benefícios específicos para certos tipos de fábrica. O fato de ser *plug and play* [ligar e usar] deixou claro o que eles estavam vendendo. Mas, em muitos casos, ainda era difícil de vender. Apenas uma parte da conta de energia podia ser cortada com a troca da fonte de geração de energia. O que uma solução pontual não oferecia era *um motivo real para usar mais energia*.

O Empreendedor do Aplicativo de Soluções

Quando uma máquina a vapor funcionava, ela funcionava. Um motor elétrico pode ser desligado e ligado novamente. Assim, enquanto a força da energia a vapor passava pelo eixo e os operadores de máquinas individuais precisavam acionar o funcionamento, ativando várias alavancas que conectavam e desconectavam a máquina, com a energia elétrica, estes podiam simplesmente ligar e desligar um motor conectado diretamente às máquinas individuais. Isso era mais simples e exigia muito menos manutenção.³ Mas também significava que a quantidade de energia consumida por uma fábrica variava dependendo do uso. Como observou o historiador econômico Nathan Rosenberg, isso levou a indústria a uma era conhecida como “energia fracionada”, em que “tornou-se possível fornecer energia em unidades muito pequenas, menos caras e também de uma forma que não exigia a geração de quantidades excedentes, ou seja, era possível fornecer ‘doses’ pequenas ou intermitentes de energia”.⁴

A visão empreendedora aqui, em relação ao valor da eletricidade, foi a de que ela exigia menos energia ou, mais precisamente, gerava energia apenas quando necessário. Embora esse insight tenha começado a formatar algumas mudanças no design da fábrica, como, por exemplo, ter fontes de energia separadas para diferentes tipos de máquinas, alguns engenheiros começaram a imaginar motores elétricos disponíveis em cada uma delas. Mas mesmo para grupos de máquinas havia um grande valor em pagar pela energia apenas quando as máquinas estivessem sendo usadas.

A grande mudança foi montar um acionamento elétrico em uma única máquina. Hoje, chamaríamos isso de aplicativo de solução. Em vez de simplesmente trocar uma fonte de energia, todo o dispositivo (ou seja, o aplicativo) foi trocado. Além disso, algumas máquinas tornaram-se muito mais portáteis — não mais presas a um eixo central, as ferramentas podiam ser movidas. O trabalho não mais precisava vir até as máquinas; as máquinas iam até o trabalho.

Essa foi a promessa. A realidade era a de que qualquer máquina ou ferramenta individual — como uma furadeira, uma serra elétrica ou uma prensa — precisava ser totalmente reprojeta para aproveitar a vantagem de se ter um motor elétrico individual.⁵ Além disso, os motores em si geralmente não estavam disponíveis no mercado e deveriam ser adaptados para a máquina ou o uso específico. As oportunidades de aplicativos de soluções eram abundantes, mas os dispositivos ainda precisavam ser projetados. E mais, projetar um motor na fábrica para ser utilizado em uma única ferramenta reduziria as chances de esse mesmo motor ser utilizado em outras ferramentas. Encontrar o equilíbrio certo obviamente exigiria o redesenho de muitas ferramentas. Isso significaria a criação de um sistema completamente novo, o que levaria tempo.

O Empreendedor do Sistema de Soluções

Durante a Revolução Industrial, as fábricas foram projetadas para funcionar com geração de energia a vapor. Como vimos, havia uma única fonte de geração de energia na fábrica, que distribuía, por meio de um eixo central com correias e polias, a energia necessária para o funcionamento das máquinas individuais. Aos olhos modernos, esse sistema pareceria uma grande máquina com peças dentro funcionando como meras engrenagens. Por sua grande estrutura, era uma engenhoca onde centenas de partes móveis eram ligadas a um único ponto de entrada de energia. Ter um novo tipo de potência não mudou isso. Mas ter novas máquinas fez com que alguns empresários repensassem a fábrica em si. Suponha que não houvesse eixos centrais ou mesmo eixos dedicados a grupos de máquinas individuais. *Como seria uma fábrica se você a projetasse do zero, considerando o conhecimento que tem agora sobre eletricidade?*

As fábricas eram construídas de modo que as máquinas ficassem próximas da fonte de energia. O que significava que havia vantagens em um projeto vertical com prédios de fábrica de vários andares. As pequenas e estreitas fábricas de vários andares do final de 1800 tinham seus próprios custos em termos de condições de trabalho, segurança e desempenho das máquinas. A eletricidade eliminou a necessidade de espremer tudo isso em pequenos espaços.

Os gerentes com maior visão empresarial perceberam que o verdadeiro valor da eletricidade viria do fornecimento de um sistema de soluções — especificamente, um sistema que pudesse aproveitar tudo o que a eletricidade tinha a oferecer. Por sistema, queremos dizer *um conjunto de procedimentos que, juntos, garantem que algo seja feito.*

Pense na economia de espaço dentro de uma fábrica. Com o sistema a vapor e fonte central, o espaço próximo ao eixo era mais valioso do que os demais. Portanto, o trabalho era feito principalmente próximo ao eixo, e qualquer outra coisa era armazenada e/ou removida. Isso significava que, à medida que eram fabricados, os produtos eram movidos de acordo com as demandas da fábrica.

A eletricidade equalizou o valor econômico do espaço, proporcionando flexibilidade. Agora valia a pena organizar o modelo de produção, digamos, em linha, de modo que reduzisse a movimentação do produto da fábrica, passando de um processo para o outro em um movimento único. Henry Ford não poderia ter inventado a linha de produção para o carro Modelo T com energia a vapor. Somente a eletricidade, décadas depois de sua promessa comercial, poderia alcançar isso. Sim, Ford era um empresário automotivo, mas era, em grande parte, um empreendedor de sistemas de soluções. Essas mudanças no sistema alteraram o cenário industrial, e só então a energia elétrica apareceu nas estatísticas de produtividade — e em grande estilo.⁶

Os Empreendedores da IA

Podemos tirar três lições disso tudo. Primeiro, o caminho para grandes aumentos de produtividade está em entender o que uma nova tecnologia oferece. Um empresário lançando mão da eletricidade em 1890 teria se concentrado em “economizar custos de combustível” como a principal proposta de valor para a tecnologia. Mas a eletricidade não era apenas uma máquina a vapor mais barata. Seu verdadeiro valor estava em fornecer uma forma de separar o uso da energia da sua origem. Isso liberou os usuários da restrição de distância, levando a uma cascata de melhorias no design da fábrica e no fluxo de trabalho. Por outro lado, um empresário que fizesse uso de eletricidade em 1920 teria descoberto que a proposta de valor-chave da eletricidade não era “economizar custos de combustível”, mas sim “permitir um design de fábrica muito mais produtivo”.

O mesmo padrão é o que esperamos ver com a IA. Como já observamos, as oportunidades iniciais de empreendedorismo envolveram soluções pontuais, como as da Verafin, que trocou uma forma de prever por outra melhor, mais rápida e mais barata.

Também vemos aplicativos de solução que exigem um redesenho de dispositivos ou produtos em torno da IA. Tudo o que é robotizado e alimentado

por IA é aplicativo; da mesma forma, a IA tem sido implementada em softwares para aprimorar dispositivos. Considere a câmera do seu telefone, que consegue identificar seu rosto. Isso requer uma câmera especial, bem como um hardware especializado, que mantém essas informações seguras. Mas talvez o melhor exemplo que podemos dar desse tipo de inovação sejam os bilhões de dólares investidos em projetar e lançar veículos que possam ser autogeridos nas condições reais de trânsito e estradas. Embora os carros possam parecer iguais externamente, seu hardware interno teve que ser reconstituído para permitir a colocação do sensor, o processamento a bordo e, então, o manuseio da máquina.

O que ainda precisamos verificar é a infinidade de sistemas de soluções de alto valor para IA que provavelmente surgirão. Este livro apresentará o potencial, bem como os desafios, na realização de tais oportunidades.

Em segundo lugar, uma vez que entendemos isso, precisamos fazer uma pergunta bem direta, mas potencialmente difícil de responder. Considerando o que sabemos atualmente sobre IA, como projetaríamos nossos produtos, serviços ou fábricas se estivéssemos começando do zero? Os novos designers de fábricas planas não surgiram nas indústrias tradicionais, mas nas fábricas emergentes dos anos 1900, como as de tabaco, metais manufaturados, equipamentos de transporte e a do próprio maquinário elétrico. Vemos ecos disso na adoção inicial de projetos de sistemas centrados em IA nas novas indústrias digitalizadas de hoje: pesquisa, comércio eletrônico, conteúdo de streaming e redes sociais.

Para a IA, podemos fazer as mesmas duas perguntas: (1) O que a IA realmente está nos dando? (2) Se estivéssemos projetando nosso negócio do zero, como construiríamos nossos processos e modelos de negócios? Se a eletricidade não era o “custo de energia mais baixo”, mas permitia “um design de fábrica muito mais produtivo”, talvez a IA não seja o “custo de previsão mais baixo”, mas aquele que permite “produtos, serviços e design organizacional muito mais produtivos”. Considerando que o principal benefício da eletricidade foi desacoplar o uso de energia de sua fonte, o que facilitou a inovação no design da fábrica, o principal benefício da IA é que ela desvincula a previsão do restante do processo de tomada de decisão, o que, por sua vez, facilita a inovação no design organizacional, reimaginando como as decisões se inter-relacionam.

Argumentamos que, ao desacoplar a previsão dos outros aspectos de uma decisão e transferir a previsão de humanos para máquinas, a IA permite a ino-

vação em nível de sistema. As decisões são o alicerce fundamental para esses sistemas, e a IA aprimora a tomada de decisões.

A terceira e última lição: diferentes tipos de soluções oferecem diferentes oportunidades de poder nos mercados. Os empreendedores lucram quando criam e capturam valor. Em geral, com soluções pontuais, o problema é que, em primeiro lugar, há relativamente pouco valor criado. A eletricidade era um substituto de energia para o vapor, mas o vapor já tinha uma base instalada. Não seria barato trocar um pelo outro, e, se isso fosse feito, a proposta de valor para o consumidor seria uma conta de energia reduzida. Em outras palavras, os empreendedores de soluções pontuais podem obter lucros por serem os melhores no fornecimento dessa solução pontual específica — algo demonstrado pela Verafin —, mas esse é o melhor dos cenários.⁷

À medida que avançamos para os aplicativos e, depois, para os sistemas, o valor que os empreendedores criam torna-se mais defensável. Novos dispositivos podem ser diferenciados da concorrência e protegidos por patentes e outras formas de proteção de propriedade intelectual. Para novos sistemas, no entanto, o potencial é ainda maior. Na eletricidade, os novos designers de fábricas foram fornecidos em grande parte pelos proprietários dessas fábricas. Em seus próprios domínios, isso lhes deu um *know-how* que lhes permitiu construir participação de mercado e se isolar da concorrência. Embora um layout de fábrica possa ser fácil de ver, os procedimentos, os recursos e os treinamentos subjacentes ao novo sistema são menos visíveis e mais difíceis de replicar. Além disso, novos sistemas podem permitir escala.

A Disrupção e o Poder da IA

A eletricidade levou décadas para causar o que chamamos de “disrupção”. Durante suas duas primeiras décadas, foi utilizada como solução pontual em algumas fábricas e aplicações, e para iluminação em outras. Mas isso só mudou a economia quando novos sistemas se desenvolveram. Essa mudança foi profunda e transferiu o poder para aqueles que controlavam a geração de energia elétrica e as redes de distribuição e para aqueles que podiam usar eletricidade em grande escala na produção em massa. Depois disso, você não queria ser um fabricante de correias e polias ou um proprietário de uma fábrica no centro da cidade.

Vemos os mesmos processos acontecendo com a IA. As mudanças reais no poder econômico transferem o controle dos recursos e ativos escassos de um grupo de pessoas para outro, e são acompanhadas pela capacidade de proteger os negócios de pressões competitivas. Certamente, existem oportunidades para fazer isso com a IA, mas as que romperão, — ou seja, remodelarão — as indústrias e quem têm poder dentro delas surgem com os novos sistemas. Porém, novos sistemas são difíceis de desenvolver e, como exploraremos, difíceis de copiar, porque geralmente são complexos. Isso cria oportunidades para aqueles que conseguem inovar os próprios sistemas.

Há, no entanto, uma incerteza considerável: para a IA, quem pode acumular poder com essas novas tecnologias é uma questão em aberto. Tudo dependerá de como serão esses novos sistemas. Nossa tarefa aqui é iluminar seu caminho para antecipar quem pode ganhar e perder poder à medida que os sistemas de IA se desenvolvem e são adotados na sociedade.

PONTOS PRINCIPAIS

- A parábola dos três empreendedores, ambientada há mais de cem anos e focada no mercado de energia, ilustra como diferentes empreendedores explorando a mesma mudança tecnológica, do vapor à eletricidade, podem explorar diferentes propostas de valor: soluções pontuais (menor custo de energia e menos perda devido ao atrito — nenhuma alteração de projeto no sistema de fábrica); aplicativos de soluções (acionamentos elétricos individuais em cada máquina — máquinas modulares, de modo que a parada de uma não afete as outras; nenhuma mudança de projeto no sistema de fábrica); e sistemas de soluções (fábricas redesenhadas — construção leve, andar único, fluxos de trabalho otimizados em termos de layout espacial e fluxo de trabalhadores e materiais).
- Algumas propostas de valor são mais atraentes do que outras. No caso da eletricidade, as soluções pontuais e os aplicativos de solução, baseados na substituição direta do vapor por eletricidade, sem modificar o sistema, ofereciam um valor limitado, o que se refletiu na lenta adoção inicial pelas indústrias. Com o tempo, alguns empresários viram a oportunidade de fornecer soluções em nível de sistema explorando a capacidade da eletricidade de desacoplar a máquina da fonte de energia, de um modo que com o vapor ficaria muito caro, quando não impossível. Em muitos casos, a proposta de valor das soluções no nível do sistema excedeu em muito o valor das soluções pontuais.

12 O Tempo Entre os Tempos

Assim como a eletricidade permitiu desacoplar a máquina da fonte de energia e facilitou a mudança da proposta de valor de “custos de combustível mais baixos” para “design de fábrica muito mais produtivo”, a IA permite dissociar a previsão dos outros aspectos de uma decisão e, assim, facilita a mudança do valor de “menor custo de previsão” para “sistemas muito mais produtivos”.

AMOSTRA



O Futuro dos Sistemas de IA

O ano de 2017 foi repleto de conferências de IA. Esses eventos reuniam empresas e governos e também deixavam os acadêmicos animados. Tendo percebido que a IA tinha o potencial de transformar economias, queríamos que alguns dos melhores pesquisadores econômicos do mundo pensassem sobre ela, então organizamos uma conferência em Toronto para definir uma agenda de pesquisa para economistas relacionada à IA.¹

Para nossa surpresa, não tivemos problemas para atrair uma multidão de economistas ao evento. Paul Milgrom, da Universidade de Stanford, que viria a ganhar o Prêmio Nobel por inovações que abrangem economia e ciência da computação, recordou-se de um convite semelhante que recebeu em 1990 para uma conferência sobre economia relacionada à internet. Ele recusou e se arrependeu. “Lembro-me nitidamente de quando, em 1990, a NSF me perguntou se eu estaria interessado em trabalhar na economia da internet, e eu estava muito ocupado trabalhando na teoria do principal-agente, na economia da empresa e na supermodularidade. Então eu recusei. Ugh!”, ele escreveu. “Sem desculpas desta vez. Sim, estarei lá.”²

Alguns dos participantes estavam otimistas sobre o impacto da IA. Daniel Kahneman, outro laureado com o Nobel, comentou: “Não acho que haja muito

que possamos fazer que os computadores não possam vir a ser programados para fazer também.”³ Betsey Stevenson, que atuou no Conselho de Assessores Econômicos do presidente Obama, resumiu, otimista: “Está claro que os economistas acreditam que a inteligência artificial representa uma oportunidade para ganhos econômicos substanciais.”⁴

Outros eram mais céticos. Joseph Stiglitz, outro ganhador do Prêmio Nobel, era um dos vários preocupados com o impacto sobre a desigualdade. Tyler Cowen, economista e ex-colunista do *New York Times*, temia que a produtividade da IA aumentasse a escassez de recursos físicos. Manuel Trajtenberg, que passou parte de sua carreira como político em Israel, observou que os benefícios de longo prazo de uma tecnologia são irrelevantes se qualquer outra revolução acontece primeiro, renunciando uma crescente resistência à automação de máquinas e à percepção popular sobre o impacto que essa automação teria nos empregos.

Uma preocupação particularmente interessante era a de que a IA não parecia ter muito impacto na economia. Como os economistas Erik Brynjolfsson, Daniel Rock e Chad Syverson colocaram:

Vivemos em uma era de paradoxos. Os sistemas que usam inteligência artificial igualam ou superam o desempenho no nível humano em cada vez mais domínios, alavancando avanços rápidos em outras tecnologias e impulsionando os preços das ações. No entanto, o crescimento da produtividade caiu pela metade na última década, e a renda estagnou desde o final da década de 1990 para a maioria dos americanos.⁵

Para quem estuda a história da tecnologia (e como vimos com a eletricidade), esse paradoxo não é inédito. Em 1987, Robert Solow, do MIT, fez a famosa piada de que “vemos a era do computador em todos os lugares, menos nas estatísticas de produtividade”. Os computadores estavam aparecendo em todos os lugares sem melhorias reais possíveis de serem medidas na produtividade. O padrão era familiar, e os economistas se interessaram pelo que aconteceria quando surgissem as “tecnologias de uso geral” — tecnologias que permitissem o crescimento sustentado da produtividade em vários setores.⁶ As tecnologias de uso geral incluem a máquina a vapor e a eletricidade, e os mais recentes semicondutores e a internet. Para os participantes da nossa conferência, a IA parecia um candidato plausível para se adicionar à lista. O que devemos