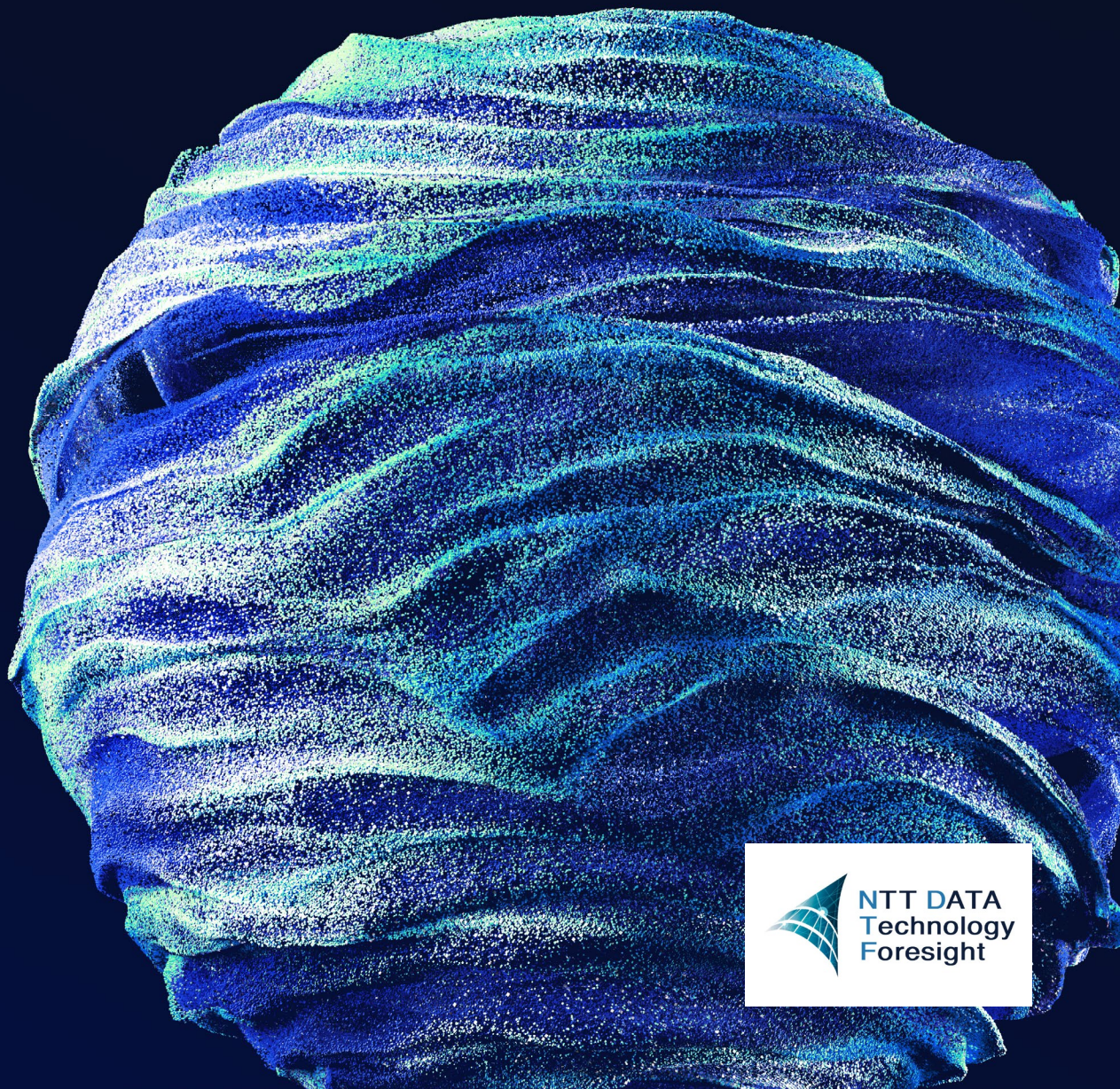


Março de 2026

NTT DATA Technology Foresight 2026

Impulsionando o crescimento
na era da inteligência em massa



Índice

03 Prefácio

04 Technology Foresight: uma visão de futuro

06 Visão geral das macrotendências: a arquitetura do futuro

08 Autonomia orquestrada por humanos

18 Agência incorporada e emoções

28 Inteligência confiável

38 Infraestrutura inteligente

48 Ecossistemas soberanos de silício

58 Da eficiência ilusória à suficiência

68 Tecnologia em contexto: visão de futuro intersetorial

87 Do insight à ação

89 Sobre a pesquisa

90 Colaboradores

90 Sobre a NTT DATA

Prefácio

Na era da inteligência em massa, a IA se tornou uma capacidade ao alcance de bilhões de pessoas, transformando a forma como processamos informações, colaboramos e resolvemos problemas.

A criatividade humana agora é potencializada pela IA. A autonomia orquestrada por humanos já está transformando organizações: as máquinas executam tarefas em escala enquanto as pessoas definem direção e propósito. A tecnologia deixou de ser algo distante e impessoal — está se tornando empática. Por meio da agência incorporada e das emoções, agentes digitais começam a interpretar o contexto humano a partir de sinais não verbais, tornando as interações mais naturais e centradas nas pessoas.

O futuro que idealizamos é o de uma inteligência confiável. À medida que a IA passa a influenciar decisões, da sala de reuniões à interface com o cliente, a confiabilidade se torna indispensável. Para construir essa inteligência confiável, é preciso desenhar algoritmos e ecossistemas de dados com responsabilidade ética e transparência como elementos centrais.

Ao mesmo tempo, o mundo é apoiado por uma infraestrutura inteligente, uma base distribuída e mais inteligente em que a cloud é apenas uma peça. Decisões urgentes são tomadas cada vez mais perto de onde os eventos acontecem, exigindo que cargas de trabalho rodem em computação especializada, enquanto a soberania define onde a inteligência reside. As organizações precisam construir infraestruturas que se adaptem continuamente ao propósito e à resiliência.

A ascensão da inteligência em massa também exige maior controle sobre os elementos críticos da cadeia de suprimentos tecnológica. Ecossistemas soberanos de silício estão surgindo à medida que empresas e nações buscam bases seguras e especializadas para garantir que a inovação permaneça alinhada a seus valores fundamentais. E à medida que expandimos os limites da produtividade, o objetivo não é mais a hipereficiência a qualquer custo, mas a suficiência. Ao superar a eficiência ilusória em direção à suficiência, líderes passam a priorizar a prosperidade de longo prazo em vez de ganhos imediatos.

Na NTT DATA, nossa visão é ousada e ambiciosa, mas também pragmática e baseada na realidade. Com nosso próprio assistente de IA orientado para a previsão, que aprimora a consultoria aos clientes, ajudamos as organizações a transformar essas tendências em vantagem competitiva, de modo que a inteligência colaborativa - a fusão da intenção humana com a velocidade da máquina - impulse mudanças positivas. Quem navegar esta era com confiança, clareza e propósito não vai apenas se adaptar ao futuro, mas contribuir para um mundo mais inteligente e sustentável.

Technology Foresight: uma visão de futuro

Propósito e metodologia

O propósito do Technology Foresight é oferecer clareza estratégica em meio à aceleração das transformações tecnológicas e sociais.

O programa não busca prever um único futuro, mas iluminar múltiplos futuros plausíveis determinados por mudanças estruturais profundas. Por meio da exploração contínua de sinais emergentes, tendências de longo prazo e dinâmicas intersetoriais, ajudamos organizações a antecipar mudanças não lineares e compreender como forças globais podem influenciar mercados, tecnologias e o comportamento humano.

Nossa metodologia combina varredura ambiental, insights de especialistas e análise sistêmica, integrando perspectivas sociais, econômicas, ambientais, geopolíticas e tecnológicas. Um processo estruturado, acelerado e aprimorado pela IA, permite que líderes identifiquem sinais precoces, avaliem implicações e alinhem decisões de inovação e investimento ao propósito social de longo prazo, garantindo que o progresso tecnológico sustente a resiliência humana e planetária.

Esses insights convergiram nas seis macrotendências tecnológicas que estruturam este relatório. As macrotendências não são desenvolvimentos isolados. Pelo contrário, representam direções interconectadas de transformação que influenciam a forma como a inteligência é criada, governada, incorporada e escalada em diferentes setores e sociedades.





Direcionando a inovação e a estratégia

O Technology Foresight funciona como uma ponte estratégica entre o insight e a ação.

Ao conectar transformações globais a tecnologias e comportamentos emergentes, o programa permite que organizações identifiquem áreas de oportunidade e desenvolvam inovações que atendam a necessidades futuras, e não apenas à demanda atual. Além disso, revela áreas inexploradas para novas ofertas, capacidades e modelos de negócio alinhados a cenários futuros prováveis.

Do ponto de vista estratégico, os insights apresentados neste relatório ajudam as organizações a fortalecer a resiliência, orientando as opções de portfólio, o desenvolvimento de recursos e as parcerias do ecossistema. Permitem que líderes priorizem investimentos e definam onde experimentar, especialmente quando a maturidade tecnológica supera a preparação organizacional, regulatória ou social.

Em essência, o Technology Foresight permite que organizações naveguem a incerteza com confiança, intenção e responsabilidade, garantindo que a inovação permaneça intencional, preparada para o futuro e alinhada às transformações da sociedade.

Visão geral das macrotendências: a arquitetura do futuro

Entramos na era da inteligência em massa, em que cada sistema, processo e produto é cada vez mais capaz de aprender, adaptar-se e agir de forma autônoma, e em que a IA agora está acessível a bilhões.

O NTT DATA Technology Foresight 2026 explora como essa transformação pode servir ao crescimento com propósito por meio de sistemas que são inteligentes e transparentes, emocionais e ao mesmo tempo éticos, e soberanos, além de interconectados.

As seis macrotendências deste relatório representam a arquitetura desse futuro: uma transição da automação e assistência para a autonomia e a incorporação por meio de sistemas emocionalmente inteligentes e eticamente governados, apoiados por infraestrutura inteligente, ecossistemas soberanos de hardware e um compromisso renovado com a sustentabilidade por meio da suficiência.

Juntas, essas dinâmicas sinalizam a ascensão de uma inteligência interconectada e adaptativa que vai transformar a forma como o valor é criado em toda a sociedade.

“

A inteligência em massa potencializa o propósito humano quando guiada por valores humanos.”

Arquitetura do futuro



Figura 1: Arquitetura do futuro

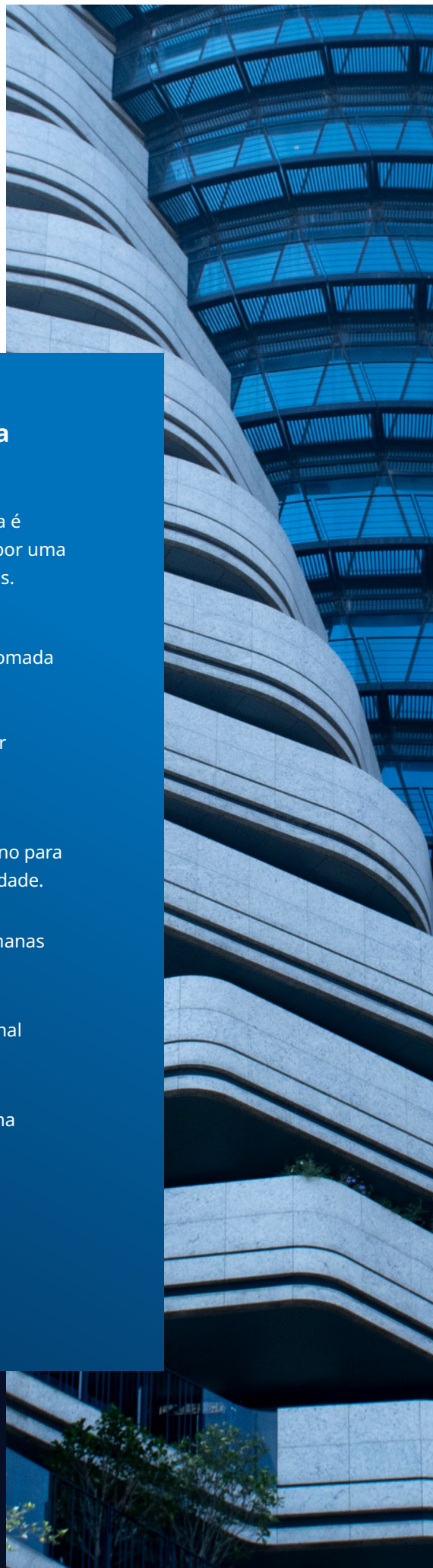
Embora apresentadas como seis macrotendências distintas, essas forças operam como uma única transformação convergente. Cada tendência — autonomia, emoção, confiança, infraestrutura, soberania e suficiência — reforça as demais, formando uma base coerente para a era da inteligência em massa.

Por que os humanos são importantes na era da inteligência em massa

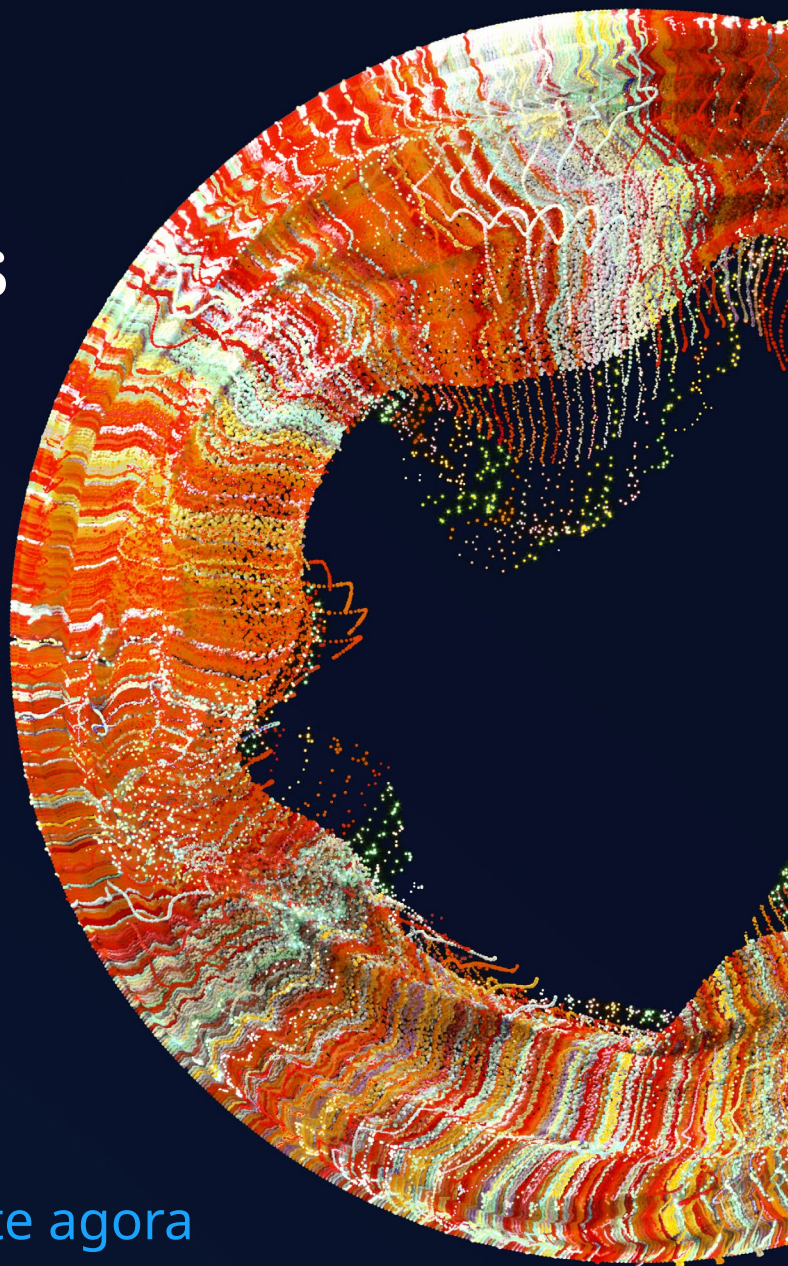
Em todas as seis macrotendências, a era da inteligência em massa é definida não por máquinas agindo de forma independente, mas por uma colaboração mais profunda entre humanos e sistemas inteligentes.

- 01** A **autonomia** escala a intenção humana por meio de tomada de decisão responsável e governada.
- 02** A **agência incorporada** aprimora a interação ao integrar empatia e consciência emocional aos sistemas digitais, além de viabilizar a ação no mundo físico.
- 03** A **inteligência confiável** depende do julgamento humano para definir os limites de segurança, equidade e responsabilidade.
- 04** A **infraestrutura inteligente** apoia as prioridades humanas ao viabilizar bases resilientes, soberanas e adaptativas.
- 05** O **silício soberano** assegura a capacidade computacional que sustenta a inovação direcionada por humanos.
- 06** A **suficiência** garante que a inteligência evolua de forma responsável dentro dos limites ecológicos e sociais.

Juntas, essas macrotendências reforçam um princípio central: a inteligência em massa potencializa o propósito humano quando orientada por valores humanos.



1 Autonomia orquestrada por humanos



O que é e por que é relevante agora

Sistemas autônomos são um pilar fundamental da inteligência em massa

A autonomia chegou a um momento decisivo. O que começou como automação de tarefas está evoluindo rapidamente para uma inteligência adaptativa e orientada por propósito, capaz de agir em funções de negócio, sistemas físicos e infraestrutura social. No entanto, essa aceleração ocorre em um momento em que a confiança pública, a pressão regulatória e as expectativas éticas aumentam de forma significativa.

Isso torna o alinhamento à intenção humana a nova fronteira estratégica. As organizações não podem mais depender de comportamentos algorítmicos opacos, precisam de sistemas autônomos que sejam transparentes, explicáveis, auditáveis e continuamente governados.

À medida que as empresas avançam de projetos-piloto para operações autônomas em escala, seja em robótica, automação de decisões ou agentes nativos de IA, o desafio central deixa de ser a capacidade tecnológica e passa a ser a orquestração responsável. Os sistemas que terão sucesso serão aqueles que potencializam o propósito humano em vez de substituí-lo, transformando a autonomia em uma rede colaborativa no qual humanos e agentes inteligentes cocriam resultados com responsabilidade e confiança mensuráveis.

À medida que os sistemas autônomos amadurecem, eles se tornam um dos pilares fundamentais da inteligência em massa, traduzindo a intenção humana em ação coordenada e adaptativa em ambientes digitais e físicos.

Conceitos fundamentais

Alinhamento à intenção humana

Sistemas autônomos atuam de acordo com objetivos e princípios éticos claramente definidos pelos humanos, potencializando a intenção humana e mantendo os resultados responsáveis e alinhados às prioridades empresariais e sociais.

Colaboração entre humanos e máquinas

Humanos e agentes de IA compartilham tarefas de forma dinâmica, com base em forças complementares, formando redes cooperativas em que os humanos definem a direção e a IA executa com adaptabilidade.

Autonomia adaptativa conforme o contexto

Os níveis de autonomia se ajustam com base no risco situacional e na supervisão necessária, otimizando confiança, segurança e desempenho em ambientes críticos e rotineiros.

Infraestrutura social de inteligência

A autonomia generalizada forma sistemas conectados que apoiam cidades, setores e instituições, criando inteligência coletiva que atende às necessidades humanas em escala.

Autonomia transparente e explicável

Os sistemas devem explicar seu raciocínio e suas ações em termos compreensíveis para os humanos, viabilizando confiança, conformidade e colaboração efetiva entre humanos e agentes inteligentes.

Frameworks de governança e controle ético

A autonomia requer supervisão contínua, que abrange conformidade regulatória, revisões éticas, auditabilidade e o monitoramento do comportamento dos sistemas e do impacto social.

Integração da autonomia cognitiva e física

A inteligência digital e os sistemas incorporados - robôs, veículos, drones - interagem com o mundo físico, conectando o raciocínio com a ação no mundo real.

Supervisão humana contínua e ciclos de aprendizado com feedback

Os humanos orientam os sistemas autônomos e, em troca, aprendem com eles, facilitando a coevolução, decisões aprimoradas e resultados socialmente alinhados.

Diferentes formas de supervisão humana, desde o suporte supervisionado à tomada de decisão até ecossistemas multiagentes autorregulados, influenciam a forma como a autonomia escala.

Stack de orquestração da autonomia



Figura 2: Stack de orquestração da autonomia

Panorama tecnológico

O panorama tecnológico da autonomia orquestrada por humanos é definido por um conjunto de capacidades, permitindo que sistemas inteligentes atuem de forma independente, mantendo-se alinhados à supervisão humana, à intenção organizacional e a caminhos de decisão responsáveis.

● Agora: Fundamentos da autonomia guiada por humanos

As organizações estão implantando os blocos fundamentais que permitem que sistemas autônomos permaneçam transparentes, direcionáveis e alinhados ao propósito humano.

Frameworks de agentes e ferramentas de orquestração de IA formam a camada de execução, permitindo que colaboradores digitais e agentes especializados operem sob a intenção humana enquanto melhoram a velocidade das decisões. Em torno desse centro agêntico, ferramentas de explicabilidade, frameworks de monitoramento de modelos e plataformas de observabilidade de IA geram uma visibilidade auditável necessária para implantações responsáveis. Pipelines de feedback humano e plataformas emergentes de governança de IA formalizam a supervisão, tratando os agentes como ativos de automação inteligente governados, enquanto mecanismos de gestão de alucinações ajudam a manter agentes generativos previsíveis, reduzindo erros de automação.

Edge AI leva a autonomia para ambientes físicos (fábricas, veículos, drones) trazendo inferência de baixa latência para onde ocorrem as ações. Modelos de visão-linguagem-ação e capacidades de IA incorporada criam a ponte entre o raciocínio digital e o comportamento físico, permitindo que robôs supervisionados por humanos e dispositivos autônomos colaborem com segurança em ambientes do mundo real.

As práticas de IA sustentável garantem que esses sistemas escalem dentro das restrições de energia e computação, alinhando a autonomia com a suficiência e a resiliência de longo prazo.

● Próximo passo: Escalando a coordenação e as camadas de decisão autônoma

À medida que os sistemas agênticos proliferam, as empresas começam a adotar as capacidades de coordenação necessárias para a autonomia em escala.

Frameworks de orquestração multiagente surgem como uma rede conectiva que permite que agentes especializados negociem tarefas, compartilhem contexto e escalonem decisões. Mecanismos de direcionamento autônomo de decisões determinam dinamicamente quando os sistemas agem de forma independente e quando a intervenção humana é necessária, reforçando segurança e conformidade. Camadas de raciocínio transparente e técnicas neurosimbólicas adicionam estrutura e verificabilidade à tomada de decisão autônoma, ajudando as organizações a evitar falhas de "agent-washing".

● Futuro: Rumo a uma inteligência orquestrada em nível sistêmico

Em um horizonte mais distante, a autonomia passa a ser uma capacidade sistêmica, incorporada às empresas e à sociedade.

Protocolos de governança autônoma começam a operacionalizar policy-as-code, viabilizando sistemas autônomos autorregulados capazes de aplicar restrições, detectar violações e iniciar ações corretivas. Infraestruturas de inteligência coletiva coordenam redes distribuídas de humanos e agentes, formando uma cognição organizacional que se adapta continuamente ao contexto.

Pesquisas em interfaces biodigitais exploram como sinais cognitivos humanos poderiam eventualmente se tornar parte da rede de orquestração, enquanto sociedades de aprendizado adaptativo estendem a autonomia para serviços públicos, mobilidade, saúde e sistemas urbanos, transformando a autonomia de um conjunto de ferramentas em uma infraestrutura social inteligente e compartilhada.

Radar tecnológico

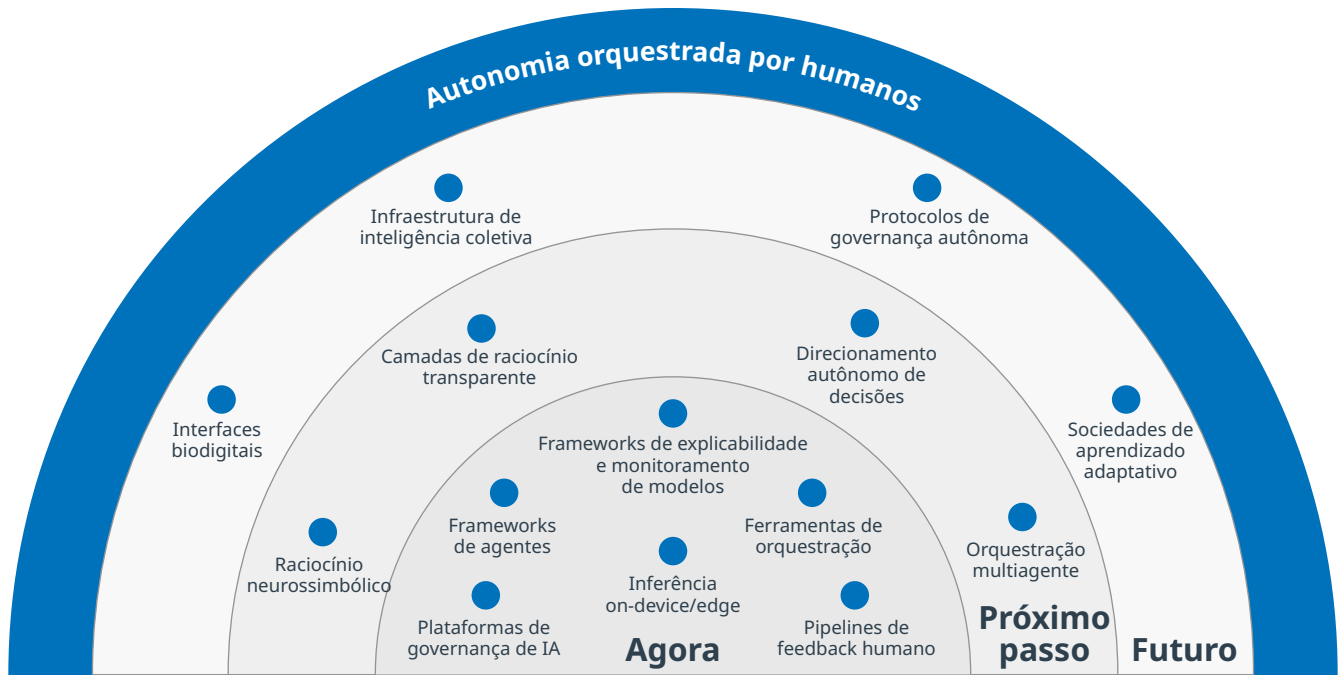


Figura 3: Autonomia orquestrada por humanos: radar tecnológico

Sinais e ecossistema

Sinais de mercado

Categoria	Tamanho de mercado 2024 (em bilhões de dólares)	Tamanho de mercado 2029 (em bilhões de dólares)	CAGR (2024 a 2029)
Orquestração de dados	2,6	7,16	22,2%
Orquestração de modelos	1,74	4,51	21%
Orquestração de GenAI	1,35	3,81	23%
Orquestração de infraestrutura	0,91	2,2	19,4%
Orquestração multiagente	0,63	1,85	24,1%

Tabela 1: Autonomia orquestrada por humanos: Tamanho de mercado e previsão¹

A demanda por agentes orquestrados está crescendo à medida que as empresas migram de modelos individuais para uma autonomia coordenada.

¹ Technavio. AI Workflow Orchestration Market Analysis, Size, and Forecast 2025–2029, Julho de 2025.

Sinais de adoção empresarial

O Gartner prevê que até

40%

das aplicações empresariais incluirão agentes integrados e específicos para tarefas até 2026, em comparação com 5% atualmente.²

Até 2029, a Agentic AI resolverá de forma autônoma

80%

dos problemas comuns de atendimento ao cliente sem intervenção humana, gerando uma redução de 30% nos custos operacionais.³

75%

dos colaboradores se sentem confortáveis trabalhando com agentes de IA, mas somente 30% se sentem confortáveis sendo gerenciados por esses agentes.⁴

Sinais de parcerias setoriais

O maior dinamismo se concentra nos setores de defesa, mobilidade, manufatura e logística, todos os quais exigem autonomia auditável sob supervisão humana.

Insights sobre a curva de adoção

2024 a 2026

Frameworks de agentes, controles humanos no circuito e medidas de proteção de autonomia se tornam prática padrão.

2026 a 2028

Orquestração multiagente, camadas de raciocínio transparente e fluxos de trabalho cognitivos ganham escala nas operações empresariais.

2028 a 2030

Direcionamento autônomo de decisões e ecossistemas coordenados entre humanos e máquinas amadurecem em funções críticas.

+2030

A inteligência orquestrada no nível sistêmico se integra entre setores, formando redes autônomas adaptativas e alinhadas à confiança.



² Gartner. Comunicado de imprensa. [Gartner Predicts 40% of Enterprise Apps Will Feature Task-Specific AI Agents by 2026, Up from Less Than 5% in 2025](#). 26 de agosto de 2025.

³ Gartner. Comunicado de imprensa. [Gartner Predicts Agentic AI Will Autonomously Resolve 80% of Common Customer Service Issues Without Human Intervention by 2029](#). 5 de março de 2025.

⁴ Workday. Report. [AI Agents Are Here—But Don't Call Them Boss](#). © 2026.

Startups relevantes

Startup	Visão geral	Fundada em	Estágio de financiamento	Financiamento total (USD)
Arize AI	Plataforma de observabilidade e monitoramento de machine learning (ML) projetada para detectar, diagnosticar e explicar problemas de desempenho de modelos.	2020	Série C	131 milhões
Character.AI	Plataforma de companhia e conversação com IA que permite que os usuários criem e interajam com personas de IA personalizadas ("personagens") que lembram contexto e podem ser compartilhadas.	2021	Série A	193 milhões
Credo AI	Oferece uma plataforma de governança de IA para garantir que modelos de IA sejam responsáveis, conformes e éticos.	2020	Série B	41,3 milhões
Crew AI	Oferece um framework multiagente open source baseado em Python e uma plataforma empresarial que permite às equipes construir, orquestrar e implantar agentes de IA colaborativos para automatizar fluxos de trabalho complexos usando diversos modelos de linguagem de grande porte (LLMs).	2024	Série A	18 milhões
Fiddler AI	Oferece uma plataforma de IA explicável (XAI) para monitorar, explicar e melhorar modelos de machine learning com mais transparência e equidade.	2018	Série B	63,8 milhões
Labelbox	Plataforma para criação, gestão e iteração de dados de treinamento para aplicações de machine learning.	2018	Série D	188,9 milhões
LangChain	Framework open source projetado para simplificar a criação de aplicações usando LLMs.	2022	Série B	160 milhões
LlamaIndex	Framework de dados para conectar fontes de dados personalizadas a LLMs.	2022	Venture/Série desconhecida	28,5 milhões

Tabela 2: Autonomia orquestrada por humanos: Startups relevantes⁵

²³ As informações apresentadas aqui são baseadas em dados obtidos do Crunchbase (<https://www.crunchbase.com/>). A precisão e a integridade dependem da fonte e podem mudar com o tempo.

Casos de uso e aplicações

Os exemplos a seguir ilustram como a autonomia orquestrada por humanos já está mudando a forma como as organizações operam, combinando sistemas agênticos com supervisão humana para entregar inteligência escalável, confiável e adaptativa.

01 Suporte autônomo à decisão e fluxos de trabalho supervisionados

As empresas adotam agentes supervisionados por humanos que redigem documentos e códigos, preparam decisões e resolvem solicitações de serviço rotineiras, tudo mantendo uma supervisão auditável e humana.

Decisões de crédito, análises de sinistros, resumos de gestão de casos ou determinações de elegibilidade são gerados de forma autônoma, mas cada ação é rastreável: o raciocínio do agente, as recuperações de fontes, as pontuações de confiança e a lógica de escalonamento são todos registrados como parte de uma trilha de auditoria verificável.

Implantações iniciais mostram reduções significativas na latência das decisões e nas taxas de erro, particularmente em ambientes supervisionados.

02 Autonomia operacional supervisionada por humanos em sistemas físicos e digitais

As organizações implantam agentes autônomos e robôs que executam tarefas operacionais (classificação de ameaças, análise laboratorial, inspeção, manutenção preditiva) sob supervisão humana estratégica.

Em ciberdefesa, agentes detectam e categorizam ameaças antes de orquestrar etapas de contenção automatizada; analistas intervêm em cenários de alto risco. Em laboratórios científicos, pipelines de análise autônoma processam dados e propõem ações para verificação humana. Na manufatura e logística, sistemas de IA incorporada de empresas como NEURA Robotics e Auterion coordenam operações multirrobôs com taxas de erro menores quando os humanos permanecem no circuito.

Essa é uma transição da operação manual para a inteligência distribuída orquestrada, em que agentes inteligentes executam o trabalho e humanos governam os limites operacionais, as regras de segurança e os limiares de supervisão.

03 Autonomia coordenada em ecossistemas físicos

Cidades, operadores de redes elétricas e provedores de mobilidade adotam a autonomia orquestrada para coordenar frotas, gerenciar carga de energia e otimizar fluxos em tempo real.

Veículos autônomos e drones operam com supervisão humana no circuito, enquanto sistemas de controle multiagente gerenciam roteamento, condições de tráfego ou prioridades de missão. Concessionárias de energia aplicam os mesmos princípios ao balanceamento de redes inteligentes, com agentes que preveem a demanda, redirecionam fluxos de energia e previnem eventos de sobrecarga, escalonando exceções para operadores humanos. Plataformas de mobilidade urbana orquestram tráfego, sinais de trânsito e ativos autônomos, reunindo dados, agentes e julgamento humano em uma rede de decisão unificada.

Esses ecossistemas demonstram como a autonomia se torna uma rede de coordenação, estendendo-se de fluxos de trabalho digitais para o mundo físico, sempre com humanos definindo a intenção, as restrições e os limites éticos.

Cenários futuros

Salas de controle de IA se tornam padrão

As empresas criam salas de controle de IA em que equipes monitoram comportamentos de agentes, riscos de alucinação e fluxos de trabalho cognitivos, de forma semelhante ao funcionamento atual dos centros de operações de rede (NOCs) e dos centros de operações de segurança (SOCs).



Principais incertezas neste cenário

- As organizações abordarão isso como um custo de conformidade ou como uma vantagem estratégica?
- As ferramentas de observabilidade em tempo real amadurecerão rápido o suficiente para viabilizar essa prática?

Fluxos de trabalho cognitivos substituem mapas de processos

As organizações migram da automação de processos no estilo gestão de processos de negócio (BPM) para a automação por cadeia de raciocínio, em que agentes de IA negociam tarefas, escalonam decisões e adaptam fluxos de trabalho de forma dinâmica.



Principais incertezas neste cenário

- Os frameworks cognitivos (memória, planejamento) se tornarão confiáveis o suficiente para as operações centrais?
- As empresas aceitarão fluxos de trabalho imprevisíveis, porém mais adaptativos?

Autonomia restrita por orçamentos de risco humanos

As empresas atribuem a cada agente autônomo um "orçamento de risco" que define quanta incerteza o agente pode aceitar ao agir, semelhante aos limites de risco financeiro.



Principais incertezas neste cenário

- Os órgãos reguladores exigirão limites de autonomia obrigatórios?
- Conseguiremos quantificar e auditar a incerteza o suficiente para operacionalizar essa abordagem?



Conclusões estratégicas



Pense na autonomia como um ecossistema governado, não como um conjunto de agentes

As organizações devem projetar para a autonomia orquestrada, garantindo que agentes, modelos e fluxos de trabalho operem sob regras de supervisão claras, caminhos de escalonamento e trilhas de auditoria.

À medida que aplicações empresariais com agentes integrados se tornam cada vez mais comuns, os líderes devem estabelecer frameworks de governança desde o início para evitar implantações fragmentadas e de alto risco.



Invista na supervisão humana como uma capacidade fundamental

As implantações mais bem-sucedidas são aquelas em que os humanos permanecem como orquestradores estratégicos. A autonomia supervisionada reduz taxas de erro e previne falhas de governança que contribuem para o cancelamento de projetos agênticos.

Os líderes devem priorizar treinamento, ciclos de feedback e novas funções que gerenciam sistemas autônomos em vez de substituí-los.



Incorpore a autonomia em sistemas operacionais e físicos para criar resiliência mensurável

Da ciberdefesa à manufatura e mobilidade, a autonomia entrega ganhos significativos de desempenho quando combinada com inferência edge de baixa latência e IA incorporada.

As organizações devem identificar operações críticas em que a autonomia pode reduzir a latência das decisões e melhorar a continuidade sob pressão.



- Estamos projetando a autonomia para escalar a intenção humana ou simplesmente para automatizar tarefas?
- Nossas equipes estão preparadas para orquestrar, supervisionar e aprender com sistemas autônomos em vez de competir com eles?
- Conseguimos explicar e justificar decisões autônomas para clientes, órgãos reguladores e a sociedade quando os resultados são contestados ou prejudiciais?

2 Agência incorporada e emoções

O que é e por que é relevante agora

Sistemas que respondem a dados e à experiência humana

A IA não está mais restrita a interfaces de texto ou tarefas isoladas, mas está avançando para formas emocionais, incorporadas e socialmente responsivas. Humanos digitais, robôs humanoides e interfaces sensíveis ao afeto estão se tornando parte da vida cotidiana, da educação e da saúde à mobilidade e aos serviços públicos. Essa mudança surge em um momento crucial em que as sociedades enfrentam situações relacionadas à exclusão, à escassez de habilidades e à crescente demanda por experiências mais inclusivas e centradas no ser humano.

Sistemas emocionalmente conscientes oferecem um caminho para a confiança, o engajamento e a interação empática, permitindo que máquinas interpretem gestos, tom de voz e afeto, e respondam de formas que pareçam intuitivas e acolhedoras.

No nível social, essas capacidades transformam a prestação de serviços e mudam as expectativas em relação a sistemas digitais, tornando a empatia sintética um fator estrutural de bem-estar, produtividade e acessibilidade.

Mas à medida que a IA emocional se integra à infraestrutura social, seu design ético se torna urgente, exigindo normas sólidas de privacidade, autenticidade e agência humana.

Ao adicionar consciência emocional e interação incorporada à inteligência artificial, essa tendência expande a dimensão relacional da inteligência em massa, viabilizando sistemas que respondem não apenas a dados, mas também à própria experiência humana.



Conceitos fundamentais

Sistemas emocionalmente responsivos como infraestrutura social

As tecnologias afetivas evoluem de ferramentas isoladas para componentes fundamentais da educação, saúde, mobilidade e governança, integrando empatia nos ecossistemas digitais.

Empatia sensório-motora e ciclos de feedback afetivo

Os sistemas interpretam sinais multimodais (expressão facial, postura, tom de voz) e ajustam suas respostas em tempo real, construindo ciclos de feedback recíprocos que aprimoram a compreensão e a confiança.

Da interação emocional à transformação estrutural

A inteligência afetiva muda a forma como serviços e relacionamentos funcionam, integrando design orientado por emoções em sistemas sociais, industriais e institucionais.

Coevolução da empatia humana e sintética

À medida que a empatia artificial amadurece, as expectativas emocionais humanas se transformam, remodelando a comunicação, o aprendizado e a conexão social.

Transformação socioeconômica por meio da digitalização afetiva

Infraestruturas sensíveis à emoção viabilizam novos modelos de inclusão, resiliência e acessibilidade, tornando a empatia um fator de progresso social e econômico.

Presença emocional incorporada em ambientes humanos

Agentes sintéticos usam voz, movimento e gestos para transmitir presença e empatia, criando espaços compartilhados intuitivos em ambientes físicos e virtuais.

Emoção sintética como catalisador de confiança e comunicação

A emoção simulada melhora a clareza e a sinalização de intenções, fortalecendo a confiança de longo prazo em interações pessoais, organizacionais e cívicas.

Ecossistemas de trabalho e colaboração emocionalmente inteligentes

A consciência emocional melhora a produtividade e o bem-estar em ambientes de trabalho híbridos, apoiando uma cultura de trabalho empática e ambientes digitais de trabalho mais sustentáveis.

Design ético e social de sistemas emocionais

A IA emocional exige normas sólidas de privacidade, transparência e agência para garantir inclusão, segurança e integridade em sistemas emocionalmente responsivos.

A transição para agentes incorporados coloca a emoção em primeiro plano, transformando a interação de uma troca funcional para um engajamento relacional.

Espectro de interação incorporada



Figura 4: Espectro de interação incorporada



Panorama tecnológico

A agência incorporada e as emoções são viabilizadas por uma stack em rápido amadurecimento de detecção multimodal, interfaces expressivas e inteligência emocional sintética. Essas tecnologias deslocam a IA da interação cognitiva para sistemas relacionais e empáticos capazes de perceber, interpretar e responder ao afeto humano em diferentes contextos.

● Agora: Capacidades maduras formando a infraestrutura emocional atual

As implantações atuais se baseiam em frameworks de computação afetiva, reconhecimento de emoções, análise de sentimento em tempo real e detecção multimodal de afeto, que melhoram a precisão em relação a modelos unimodais.

Sensores afetivos vestíveis clinicamente validados (atividade eletrodérmica (EDA) e variabilidade da frequência cardíaca (HRV)) alcançam até 84% de precisão na detecção de estresse, viabilizando aplicações em saúde, bem-estar e mobilidade.⁶

A interação emocionalmente responsiva conta com o suporte de síntese de fala e emoção, assistentes virtuais avançados, companheiros de IA e plataformas adaptativas de aprendizado e bem-estar que reduzem o tempo de suporte e melhoram a retenção e os resultados de bem-estar.

A incorporação física é proporcionada pela robótica social e assistencial e por dispositivos de feedback háptico, enquanto a proteção contra deepfakes e mecanismos de segurança afetiva garantem a integridade emocional e protegem contra manipulação.

● Próximo passo: Tecnologias em escala para a interação emocional incorporada

A próxima onda traz uma incorporação mais profunda e uma inteligência multimodal mais rica.

IA incorporada, agentes conversacionais incorporados e frameworks de empatia sensorio-motora viabilizam sistemas que respondem não apenas a sinais emocionais, mas também a movimento, postura e contexto.

Os humanos digitais evoluem para interfaces emocionalmente expressivas e adaptativas. Mecanismo de emoção sintética, sistemas de affective twin e frameworks de copiloto empático introduzem modelagem emocional longitudinal e adaptação sensível ao contexto.

Na camada de inteligência, modelos de visão-linguagem-ação unificam percepção, comunicação e ação, viabilizando a orquestração emocionalmente informada de tarefas digitais e físicas.

● Futuro: Tecnologias de ponta para criar ambientes afetivos autônomos

O desenvolvimento de longo prazo aponta para sistemas capazes de adaptação emocional autônoma.

Agentes generalistas incorporados combinam percepção multimodal, ação e raciocínio afetivo. Interfaces neuroadaptativas ajustam ambientes ou interações com base na carga cognitiva e emocional.

Coprocessadores de empatia sintética trazem inferência emocional de baixa latência para dispositivos edge, e ambientes afetivos autônomos, de locais de trabalho a ambientes de saúde, adaptam continuamente iluminação, som e fluxos de interação com base em estados emocionais coletivos.

⁶ Kyriakou K, Resch B, Sagl G, et al. Detecting Moments of Stress from Measurements of Wearable Physiological Sensors. Sensors (Basel). 2019;19(17):3805. Publicado em 3 set. 2019. doi:10.3390/s19173805

Radar tecnológico

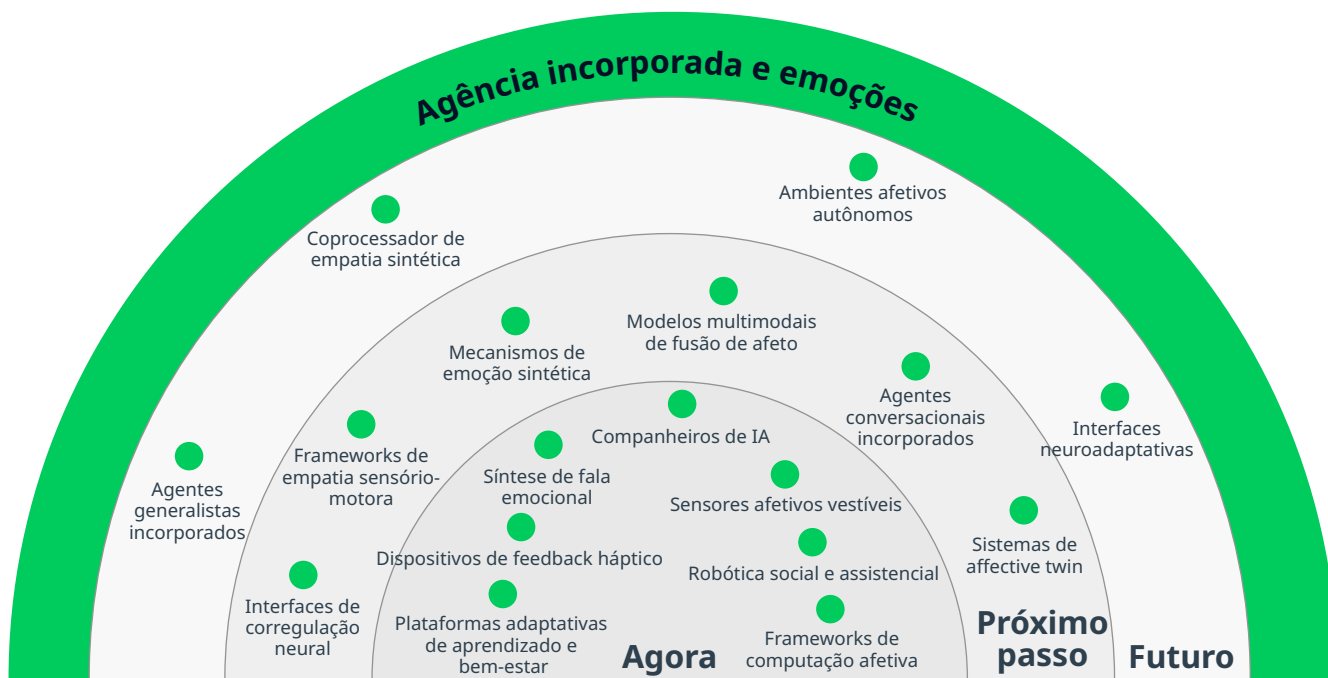


Figura 5: Agência incorporada e emoções: radar tecnológico

Sinais e ecossistema

Sinais de mercado

Categoria	Tamanho de mercado 2024 (em bilhões de dólares)	Tamanho de mercado 2029 (em bilhões de dólares)	CAGR (2024 a 2029)
Computação afetiva global	88,57	347,43	31,4%
IA emocional global	5,99	17,42	23,8%
Avatares de humanos digitais global	5,29	32,72	43,9%
Análise de emoções global	3,91	9,26*	18,2%

Tabela 3: Agência incorporada e emoções: Tamanho de mercado e previsão⁷

*Estimativas internas

A IA emocional e os humanos digitais crescem rapidamente à medida que os setores integram interação sensível ao afeto em seus modelos de serviço.

⁷Sources: Technavio reports. Global Affective Computing Market 2025–2029; Global Emotion AI Market 2025–2029; Global Digital Human Avatar Market 2025–2029; Global Emotion Analytics Market 2024–2028

Sinais de adoção empresarial

Em 2025, a IA emocional é descrita como "essencial", com

88%

dos profissionais de marketing a utilizando em seu trabalho diário.⁸

O monitoramento de CX já é a principal área de aplicação da IA emocional, representando mais de

31%

da demanda total.⁹

O envolvimento do paciente responde por

62%

do uso de IA em saúde (incluindo humanos digitais), enquanto a eficiência administrativa representa **60%**.¹⁰

Sinais de parcerias setoriais

A maior atividade está nos setores de saúde, segurança automotiva, educação, experiência do cliente (CX) e cuidados a idosos, setores que dependem de precisão emocional e confiança.

Insights sobre a curva de adoção

- 2024 a 2026**
A detecção emocional multimodal se torna o padrão técnico.
- 2026 a 2028**
Humanos digitais, agentes de realidade estendida (XR) e interfaces adaptativas a emoções ganham escala em produção.
- 2028 a 2030**
A IA emocional se torna parte da infraestrutura social, integrada a cuidados, mobilidade, educação e CX.
- +2030**
A empatia sintética e a correção humano-IA remodelam os modelos de interação social.



^{8,9} Electro IQ, *Emotion AI Statistics by Market Size, Segmental Analysis, Impact, Usage and Facts (2025)*, 29 de novembro de 2025.

¹⁰ Market.US, *Global AI-Powered Digital Humans Market Size, Share and Analysis Report*, Dezembro de 2025.

Startups relevantes

Startup	Visão geral	Fundada em	Estágio de financiamento	Financiamento total (USD)
Empatica	Desenvolve biomarcadores digitais e sistemas de IA usando sensores vestíveis para monitoramento de saúde, especialmente para epilepsia e estresse.	2011	Série B	35,6 milhões
Furhat Robotics	Projeta e desenvolve robôs sociais com características semelhantes às humanas e capacidades de IA conversacional.	2014	Semente	9,8 milhões
HeyGen	Oferece ferramentas de IA para gerar vídeos de avatar com qualidade de estúdio, traduções multilíngues com sincronização labial e clipes personalizados para marketing, vendas, treinamento e comunicações internas.	2020	Série A	74 milhões
Hume AI	Focada em construir IA empática usando modelos treinados em expressões emocionais e vocais humanas.	2021	Série B	72,8 milhões
Intuition Robotics	Desenvolve companheiros digitais empáticos e robôs sociais como o ElliQ para melhorar a vida de adultos mais velhos.	2016	Venture/Série desconhecida	83 milhões
LuxAI	Especializada em soluções robóticas disruptivas para educação, saúde e entretenimento.	2018	Subvenção	71,4 mil
Ultraleap	Desenvolvedora de tecnologias de rastreamento de mãos e feedback háptico para computação imersiva (realidade aumentada/realidade virtual (AR/VR); metaverso).	2013	Série D	166,8 milhões

Tabela 4: Agência incorporada e emoções: Startups relevantes¹¹

¹¹As informações apresentadas aqui são baseadas em dados obtidos do Crunchbase (<https://www.crunchbase.com/>). A precisão e a integridade dependem da fonte e podem mudar com o tempo.

Casos de uso e aplicações

Os exemplos a seguir ilustram o surgimento da agência incorporada e das emoções em setores em que o bem-estar humano, a confiança e a qualidade da interação são fundamentais.

01 **Assistentes de cuidado e bem-estar adaptáveis a emoções**

Agentes emocionalmente responsivos apoiam médicos e cuidadores ao detectar continuamente estresse, ansiedade ou carga cognitiva por meio de sinais multimodais (voz, expressões faciais, EDA/HRV).

Esses agentes incluem robôs de cuidado, assistentes terapêuticos e sistemas vestíveis de rastreamento afetivo. Evidências clínicas mostram que dispositivos vestíveis afetivos reduzem a carga de trabalho de monitoramento, enquanto agentes virtuais emocionalmente conscientes diminuem o tempo de suporte ao paciente e aumentam a adesão ao tratamento.

Esses sistemas aumentam a capacidade da força de trabalho, permitem a intervenção precoce e proporcionam companhia empática em ambientes de cuidado a idosos, gestão de condições crônicas e suporte à saúde mental.

02 **Interação e colaboração empresarial emocionalmente conscientes**

Ferramentas empresariais de próxima geração integram o reconhecimento de emoções à colaboração cotidiana.

Facilitadores de reunião emocionalmente conscientes detectam desengajamento, frustração ou risco de burnout, ajustando o fluxo de interação ou oferecendo estímulos de apoio. Coaches de liderança afetivos fornecem aos gestores insights emocionais em tempo real para melhorar a comunicação, reduzir conflitos e fortalecer o bem-estar da equipe, diminuindo assim o risco de burnout em equipes híbridas.

Na educação e no treinamento, tutores emocionalmente adaptativos respondem a confusão ou estresse, melhorando o engajamento e os resultados de aprendizagem.

03 **Personalização de serviços e experiências orientada por emoções**

Sistemas emocionalmente conscientes transformam jornadas de serviço ao responder ao afeto do usuário em tempo real.

A recuperação afetiva de serviços identifica frustração previamente, permitindo que humanos digitais ou agentes de IA ajustem o tom, escalonem proativamente ou adaptem soluções.

O monitoramento das emoções do motorista está se tornando um recurso fundamental de segurança na mobilidade, com a expectativa de que a maioria dos novos veículos inclua essas capacidades de detecção.

Enquanto isso, entretenimento e engajamento do consumidor evoluem por meio de entertainers e companheiros personalizados e emocionalmente responsivos que usam mecanismos de emoção sintética e expressão adaptativa para criar experiências imersivas, empáticas ou de apoio.

Cenários futuros

Métricas afetivas entram em dashboards do ambiente de trabalho

Sistemas de IA começam a rastrear o sentimento da equipe, o estresse e o clima emocional em tempo real, alimentando essas métricas em dashboards de RH ou operacionais.



Principais incertezas neste cenário

- Os colaboradores aceitarão ser monitorados emocionalmente?
- Como os órgãos reguladores de privacidade tratarão sinais afetivos?

Humanos digitais se tornam gatekeepers operacionais

Humanos digitais voltados ao cliente, escolhidos por sua estabilidade e consistência emocional, assumem o onboarding, a triagem de serviços, o coaching e a desescalada de conflitos.



Principais incertezas neste cenário

- Como os clientes reagirão a personas de IA emocionalmente competentes?
- Os modelos emocionais conseguirão manter consistência entre diferentes modalidades e contextos?

Os sistemas de influência comportamental enfrentam regulamentações relacionadas ao setor farmacêutico

Governos classificam determinados tipos de nudging afetivo ou engenharia de influência como "intervenções comportamentais" regulamentadas.



Principais incertezas neste cenário

- Quem decide o que constitui influência prejudicial e influência benéfica?
- É possível alcançar um alinhamento global sobre a regulamentação de IA afetiva?



Conclusões estratégicas



Incorpore inteligência emocional em todos os sistemas voltados ao ser humano

Reconhecimento de emoções, detecção multimodal e interfaces emocionalmente adaptativas não são mais experimentais. Estão se tornando recursos esperados em saúde, educação, atendimento ao cliente e colaboração empresarial.

As organizações devem começar integrando sinais afetivos em produtos e fluxos de trabalho existentes para criar melhorias mensuráveis em engajamento, satisfação e desempenho, começando por casos de uso de baixo risco, como recuperação de serviço.



Trate dados emocionais como ativos de alta sensibilidade

Sinais emocionais (tensão vocal, expressões faciais, biometria, microexpressões) carregam implicações psicológicas e comportamentais que exigem uma governança mais rigorosa do que a requerida para dados pessoais tradicionais. As empresas devem estabelecer políticas de dados emocionais desde o início. Isso inclui protocolos claros de consentimento, requisitos de transparência, processos de mitigação de viés e salvaguardas contra manipulação. A integridade emocional se tornará um diferencial competitivo em setores centrados na confiança.



Prepare-se para agentes emocionalmente inteligentes capazes de colaborar, ensinar e cuidar

Humanos digitais, copilotos afetivos e assistentes incorporados em breve operarão ao lado de colaboradores em funções de coaching, facilitação, bem-estar e atendimento na linha de frente.

As organizações devem começar a projetar fluxos de trabalho híbridos, treinar gestores para interpretar insights emocionais e definir os limites de função entre empatia humana e sintética.

As empresas que adotarem essas soluções desde cedo conquistarão vantagens significativas em resiliência da força de trabalho, engajamento do cliente e personalização de serviços.



- Como nossa organização garantirá que sistemas emocionalmente inteligentes aprimorem o bem-estar e a agência humana em vez de influenciar ou automatizar emoções de formas que não possamos supervisionar ou explicar completamente?
- Onde traçamos a linha entre suporte empático e manipulação emocional, e quem é responsável por aplicá-la?
- Estamos preparados para tratar dados emocionais e afetivos como ativos de alta sensibilidade ao longo de todo o seu ciclo de vida?

3 Inteligência confiável



O que é e por que é relevante agora

O pilar estabilizador da inteligência em massa

À medida que os sistemas de IA se tornam mais autônomos, interconectados e incorporados em operações críticas, a confiança se torna a camada operacional essencial da civilização digital. As organizações enfrentam ciberameaças cada vez mais adaptativas, crescimento acelerado de desinformação gerada por IA e dependência crescente de modelos opacos. Ao mesmo tempo, a autonomia e as capacidades emocionais que surgem em diferentes setores elevam o que está em jogo em termos de integridade, segurança e transparência.

Além da governança empresarial, a inteligência confiável se torna uma base para a sociedade, sustentando transparência, responsabilidade e confiança em escala.

Isso exige uma mudança da cibersegurança convencional para ecossistemas de defesa adaptativos, com autoaprendizado e proativos, que protejam tanto os dados quanto a própria inteligência artificial.

Arquiteturas zero trust, transparência cognitiva e proveniência de dados verificável não são mais ideais de boas práticas, são pré-requisitos para segurança, regulamentação e confiança da sociedade.

Os sistemas que prosperarão serão aqueles que tornam a inteligência explicável, protegida e alinhada a valores humanos, garantindo que o progresso seja construído sobre uma base de confiabilidade e garantia ética.

Conceitos fundamentais

Sistemas de IA adaptativos e resilientes

Sistemas com autoavaliação e detecção de anomalias mantêm o desempenho diante da incerteza, garantindo continuidade em cenários operacionais com padrões de ameaça dinâmicos.

Arquiteturas zero trust

Cada usuário, dispositivo e algoritmo é continuamente autenticado e validado, minimizando a confiança implícita e reduzindo as superfícies de ataque.

Ciberdefesa ativa e segurança preditiva

A IA antecipa ataques, simula comportamento adversarial e orquestra contramedidas adaptativas.

Governança e supervisão ética de sistemas inteligentes

Políticas e estruturas institucionais integram equidade, responsabilidade e conformidade nas operações de IA.

Resiliência social e institucional por meio de redes de confiança

Redes de inteligência compartilhada, padrões e frameworks interorganizacionais fortalecem a garantia coletiva e a resiliência.

Transparência cognitiva e inteligência explicável

Compreender como a IA chega a suas conclusões viabiliza verificação, responsabilidade e comportamento previsível dos sistemas.

Autenticidade e alinhamento do conhecimento das máquinas

Dados, modelos e inferências devem permanecer à prova de adulteração e alinhados aos objetivos humanos, apoiados por mecanismos que detectam drift, envenenamento ou desinformação.

Integridade e garantia da proveniência de dados

Verificação criptográfica e rastreamento de linhagem preservam a origem e a consistência das informações entre sistemas.

Colaboração humano-máquina e calibração de confiança

Interfaces transparentes ajudam os humanos a calibrar sua dependência da IA, equilibrando confiança com supervisão.

Dimensões culturais e psicológicas da confiança digital

Compreender as expectativas da sociedade ajuda a projetar sistemas considerados justos, confiáveis e controláveis.

A inteligência confiável é um pilar estabilizador da inteligência em massa, garantindo que sistemas cada vez mais autônomos, conectados e adaptativos permaneçam transparentes, seguros e alinhados a valores humanos.

Pipeline de confiança

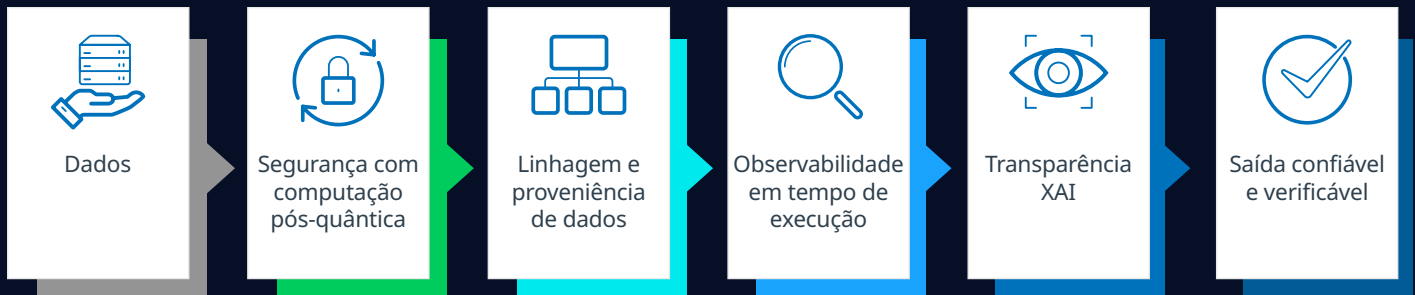
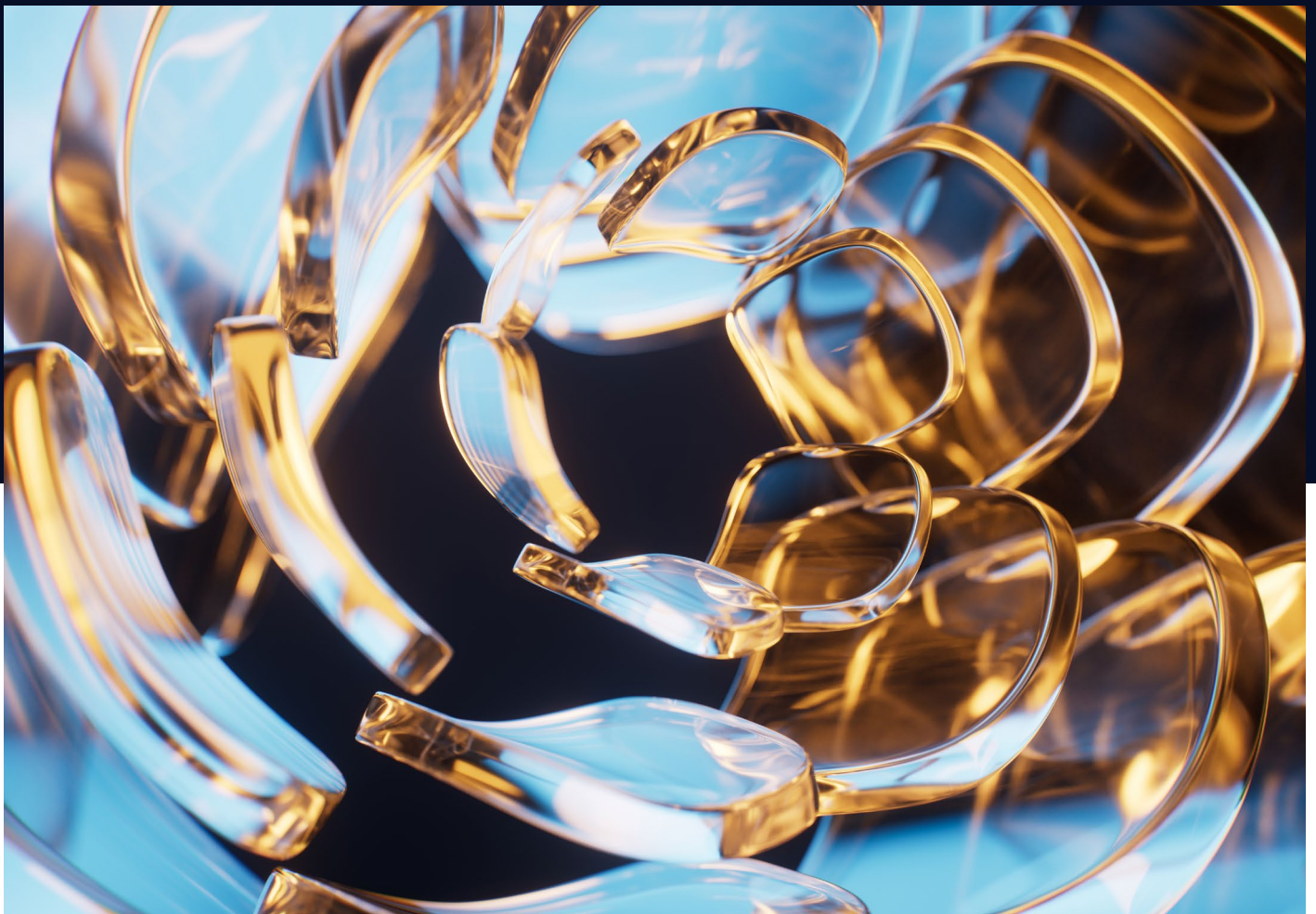


Figura 6: Pipeline de confiança



Panorama tecnológico

O panorama tecnológico da inteligência confiável compreende um conjunto de capacidades que tornam os sistemas inteligentes transparentes, verificáveis e seguros desde a fase de concepção.

● Agora: Fundamentos da confiança

As organizações estão implantando controles fundamentais que garantem integridade e responsabilidade em todos os sistemas de IA.

Esses controles incluem IA explicável (XAI), ferramentas de interpretabilidade de modelos, plataformas de auditoria e conformidade de IA, e sistemas de linhagem e proveniência de dados. Juntos, viabilizam evidências de grau auditável para a prontidão regulatória. As linhas de base de segurança, como segurança zero trust, infraestruturas de identidade centradas em privacidade e criptografia homomórfica para IA, protegem pipelines sensíveis. Com o crescimento da manipulação multimodal, autenticidade de conteúdo C2PA (Coalition for Content Provenance and Authenticity), sistemas de cadeia de confiança de modelos e proteção contra deepfakes se tornaram salvaguardas essenciais. A robustez adversarial é fortalecida por meio de red teaming de IA, enquanto a gestão de alucinações mantém os sistemas generativos previsíveis e alinhados.

● Próximo passo: Escalando a governança e a garantia de tempo de execução

À medida que a IA se torna mais autônoma, as empresas expandem para capacidades que operacionalizam a confiança em escala.

Plataformas de observabilidade e auditabilidade de IA proporcionam monitoramento contínuo de drift, linhagem e comportamento de inferência, enquanto frameworks de governança e conformidade de agentes definem limites operacionais seguros para agentes de IA. Os fluxos de trabalho de governança evoluem por meio da automação de GRC (governança, risco e conformidade) de IA, agentes de conformidade com políticas e modelos autovalidáveis capazes de detectar e corrigir inconsistências. Com foco na resiliência de longo prazo, as organizações adotam criptografia à prova de computadores quânticos, ancorada em redes emergentes de confiança interorganizacional que ampliam o compartilhamento de sinais e inteligência de ameaças.

● Futuro: Infraestrutura de confiança no nível sistêmico

Olhando para o futuro, a confiança se estende para além das empresas individuais, alcançando infraestruturas digitais compartilhadas.

Registros globais de confiança em IA verificarão a identidade, a proveniência e a conformidade de modelos além das fronteiras organizacionais, enquanto protocolos de rastreabilidade cognitiva padronizarão como as decisões são registradas em ecossistemas complexos de IA. No contexto social, firewalls contra desinformação por IA atuarão como camadas de proteção contra ataques sofisticados de mídia sintética e influência.

Radar tecnológico



Figura 7: Inteligência confiável: radar tecnológico

Sinais e ecossistema

Sinais de mercado

Categoria	Tamanho de mercado 2024 (em bilhões de dólares)	Tamanho de mercado 2029 (em bilhões de dólares)	CAGR (2024 a 2029)
Gestão de confiança, risco e segurança de IA (AI TRISM)	2,34	6,22*	21,6%
Observabilidade de IA	1,2	3,60*	24,6%
IA em cibersegurança	28*	79,80*	21,7%

Tabela 5: Inteligência confiável: Tamanho de mercado e previsão¹²

* Estimativas internas

As funções de confiança estão convergindo em stacks unificados que abrangem governança, observabilidade, proveniência e cibersegurança.

¹² Sources: GlobalNewswire. 2025. AI Trust, Risk and Security Management Trends Analysis and Growth Forecasts, 2025-2030: Market to Reach \$7.44 Billion - Generative AI Foundation Models Spur Demand for Advanced AI TRISM Tools, 21 May, 2025. Market Intelo. AI Observability Market Research Report 2033, 2025. Fortune Business Insights. 2026. Artificial Intelligence in Cybersecurity Market Size, Share & Industry Analysis, 9 de fevereiro de 2026.

Sinais de adoção empresarial

Até 2028, impulsionados pela relação de materiais (BOM) de IA,

85%

dos produtos de dados incluirão uma relação detalhando a coleta de dados, as edições realizadas, a limpeza de dados e como o consentimento foi obtido.¹³

90%

das empresas estarão adotando frameworks de governança de agentes dentro de **18 meses**.¹⁴



O monitoramento contínuo substitui a validação periódica; **stacks de confiança emergem como arquitetura empresarial padrão**.

Sinais de parcerias setoriais

A inteligência confiável é mais forte nos setores de serviços financeiros, saúde, setor público e plataformas digitais, todos os quais exigem comportamento verificável da IA e proveniência.

Insights sobre a curva de adoção

- 2024 a 2026**
Governança produtora de evidências, proveniência e monitoramento contínuo se tornam requisitos básicos.
- 2026 a 2028**
Stacks de confiança, combinando segurança, observabilidade e linhagem, são amplamente institucionalizadas nas empresas.
- 2028 a 2030**
A confiança se torna infraestrutura operacional, viabilizando decisões verificáveis de IA em domínios regulamentados e de segurança crítica.
- +2030**
Redes de confiança federadas surgem, apoiando a validação interorganizacional e a IA global.



¹³ IDC. 2024. [IDC FutureScape: Worldwide Security and Trust 2025 Predictions](#), Outubro de 2024.

¹⁴ Everest Group. Webinar. [AI Safety: The Next Frontier in Trust & Safety](#). 28 de outubro de 2025.

Startups relevantes

Startup	Visão geral	Fundada em	Estágio de financiamento	Financiamento total (USD)
Alma Security	Focada em plataformas de proteção de aplicações cloud-native (CNAPPs) para proteger ambientes e aplicações cloud.	2022	Semente/Estágio inicial	5,5 milhões
Aporia	Plataforma para monitoramento, explicação e validação de modelos de machine learning em produção.	2019	Série A (Adquirida)	30 milhões
FairNow	Focada em conformidade automatizada e gestão de risco para o uso responsável de inteligência artificial e machine learning (IA/ML) nas empresas.	2023	Semente/Estágio inicial	3,5 milhões
Qodo	Oferece ferramentas e plataformas para governança e conformidade de dados.	2022	Série A	50,6 milhões
Scribe Security	Oferece uma plataforma de segurança e conformidade para a cadeia de suprimentos de software, com foco em listas de materiais de software (SBOMs).	2021	Semente/Estágio inicial	7 milhões
Theom	Plataforma de governança de acesso a dados que usa modelos de segurança baseados em grafos para proteger dados em ambientes cloud.	2020	Série A	36,4 milhões
WitnessAI	Oferece ferramentas para auditoria, avaliação e garantia de segurança e uso ético de LLMs.	2023	Assistência não patrimonial	27,5 milhões
Xapien	Oferece uma plataforma de pesquisa baseada em IA para due diligence, conformidade e verificação de antecedentes.	2018	Série A	18,5 milhões

Tabela 6: Inteligência confiável: Startups relevantes ¹⁵

¹⁵ As informações apresentadas aqui são baseadas em dados obtidos do Crunchbase (<https://www.crunchbase.com/>). A precisão e a integridade dependem da fonte e podem mudar com o tempo.

Casos de uso e aplicações

Os exemplos a seguir ilustram como a ascensão da inteligência confiável viabiliza novas aplicações intersetoriais que combinam governança, proveniência, explicabilidade e segurança adaptativa.

01 Garantia contínua de IA em fluxos de trabalho regulamentados

As empresas integram diretamente plataformas de auditoria e certificação de IA, proveniência de modelos, rastreamento de versões e camadas de explicabilidade em seus sistemas de decisão.

Cada decisão de modelo, seja aprovação de crédito, recomendação de triagem médica ou avaliação de elegibilidade, produz evidências de grau auditável, incluindo linhagem, consentimento e metadados de versão do modelo.

Sinalizadores preditivos indicam drift ou desvios de equidade, enquanto avaliações de red team são executadas automaticamente em segundo plano. Os produtos de IA estão passando a exigir evidências de grau auditável sobre os dados de treinamento, reforçando o fato de que a garantia contínua está se tornando um requisito estrutural, e não um complemento de conformidade.

02 Antecipação adaptativa de ameaças e operações seguras de IA

As organizações implantam inteligência preditiva de ameaças, análise comportamental de confiança, análise preditiva de ameaças e detecção automatizada de vulnerabilidades para proteger ecossistemas de IA.

Os modelos aprendem continuamente com padrões adversariais, simulam ataques e detectam anomalias no comportamento de usuários, agentes e sistemas.

Trata-se de uma transição da defesa reativa para a ciberdefesa ativa e a segurança preditiva, em que a IA antecipa ameaças, orquestra medidas de proteção e valida a integridade dos dados por meio de funções de proveniência.

03 Assistentes de conhecimento confiável e verificação de fatos

As empresas implantam assistentes de verificação de fatos integrados com camadas de explicabilidade, proveniência de conteúdo e sinais de autenticidade C2PA para proteger os fluxos de informação.

Esses assistentes validam afirmações, detectam conteúdo sintético ou manipulado e geram citações rastreáveis para comunicações internas e externas.

A verificação de proveniência e a detecção de mídia sintética são fundamentais para manter autenticidade, transparência e confiança da sociedade em ecossistemas interconectados.

Cenários futuros

Conteúdo com proveniência verificada se torna um recurso padrão

A maior parte do conteúdo empresarial (relatórios, decisões, pipelines de dados) passa a exigir carimbos criptográficos de proveniência (C2PA, cadeia de confiança).



Principais incertezas neste cenário

- A adoção será impulsionada por regulamentação ou por pressão competitiva?
- A verificação de proveniência conseguirá escalar sem desacelerar as operações?

Pontuações de confiança para IA orientam decisões de compra

As empresas adquirem sistemas de IA com base em métricas de confiança padronizadas: robustez, transparência, risco de uso indevido e integridade da proveniência.



Principais incertezas neste cenário

- Quem definirá os padrões globais de confiança? ISO? Governos? Alianças setoriais?
- As pontuações de confiança conseguirão refletir o risco real de forma significativa ou serão manipuladas?

A identidade e a integridade de dados à prova de computadores quânticos eliminam a dependência de fornecedor

Os sistemas de identidade à prova de computadores quânticos permitem que agentes de IA, dados e perfis de governança sejam transferidos com segurança entre clouds e ecossistemas soberanos.



Principais incertezas neste cenário

- Os padrões globais à prova de computadores quânticos vão convergir ou fragmentar-se geopoliticamente?
- Os fornecedores resistirão à pressão do mercado para manter a identidade como propriedade?



Conclusões estratégicas



Transforme a confiança em uma capacidade operacional, não em uma camada de conformidade

As organizações devem migrar de auditorias periódicas para a garantia contínua de IA, integrando explicabilidade, proveniência, monitoramento de drift e geração automatizada de evidências diretamente nos pipelines de IA. A confiança se torna um requisito operacional que determina se a IA pode escalar com segurança em ambientes de alta criticidade.



Fortaleça a segurança da IA antes de escalar a autonomia

À medida que os sistemas de IA se tornam mais agênticos, as empresas devem fortalecê-los com inteligência preditiva de ameaças, análise comportamental de confiança e detecção automatizada de vulnerabilidades. Proteger modelos, dados e fluxos de trabalho agênticos contra envenenamento, manipulação e riscos de mídia sintética é essencial para preservar a integridade dos sistemas.



Construa redes de confiança interorganizacionais

Nenhuma organização consegue se defender sozinha contra riscos de IA em evolução. Padrões compartilhados de proveniência, frameworks de autenticidade de conteúdo e trocas de inteligência de confiança estão surgindo como infraestrutura crítica, permitindo que setores coordenem defesas e acelerem sua prontidão regulatória.



- Se todas as decisões de IA em nossa organização tivessem que ser verificadas de forma independente amanhã, quanto do nosso patrimônio atual de IA seria capaz de produzir evidências confiáveis e auditáveis sob demanda?
- Nossos mecanismos de confiança conseguem acompanhar o ritmo das ameaças adaptativas, do drift de modelos e da manipulação gerada por IA?
- Nossos frameworks de governança foram projetados para modelos individuais ou para ecossistemas de agentes, dados e decisões agindo em conjunto?

4 Infraestrutura inteligente



O que é e por que é relevante agora

O substrato operacional da inteligência em massa

A infraestrutura digital está passando por uma transformação profunda. Camadas de infraestrutura que antes eram sistemas passivos de back-end estão se tornando cognitivas, antecipatórias e soberanas, mudando a forma como as organizações gerenciam cargas de trabalho, recursos e resiliência. Isso acontece em um momento em que a demanda por computação está explodindo, impulsionada pela IA, por dispositivos conectados e pela inteligência distribuída, enquanto restrições de energia, soberania e sustentabilidade se intensificam.

A infraestrutura inteligente oferece uma vantagem estratégica: a capacidade de perceber, modelar, simular e otimizar ambientes inteiros antes que decisões sejam tomadas.

A computação de alto desempenho, a continuidade do edge à cloud e a simulação aprimorada por computação quântica permitem que governos e empresas façam a transição de operações reativas para bases digitais preditivas, resilientes e transparentes. À medida que nações buscam autonomia sobre dados e computação, a infraestrutura inteligente se torna a espinha dorsal tanto da inovação quanto da soberania.

A infraestrutura inteligente também fornece o substrato operacional da inteligência em massa, um ambiente em que computação, conectividade e detecção aprendem e se otimizam continuamente para dar suporte à atividade inteligente em toda escala.

Conceitos fundamentais

Sistemas de infraestrutura cognitiva

AI, a IoT e a inteligência contínua transformam a infraestrutura em sistemas adaptativos com capacidade de detecção, aprendizagem e otimização em tempo real.

Ecossistemas de decisão aumentados por IA

Análises híbridas e mecanismos de raciocínio apoiam decisões em tempo real, baseadas em evidências, equilibrando agilidade, custo e sustentabilidade.

Bases digitais soberanas

Ecossistemas transparentes, seguros e interoperáveis oferecem às nações e às empresas controle sobre a governança de dados, computação e infraestrutura.

Continuum digital-físico interconectado

Digital twins e sensores conectam sistemas físicos a modelos virtuais, viabilizando simulação avançada, operações preditivas e ambientes mais seguros.

Design de infraestrutura resiliente e preventiva

A modelagem preditiva identifica pontos de estresse previamente, integrando a resiliência ao planejamento e às operações.

Computação de alto desempenho e simulação aprimorada por computação quântica

A computação avançada modela sistemas complexos como cidades, redes elétricas, logística e materiais, viabilizando testes virtuais antes de decisões no mundo real.

Infraestrutura híbrida integrada

Cloud, edge e dispositivos operam de forma interligada como um ambiente unificado, viabilizando otimização desde o nível do sensor até o controle estratégico.

Otimização sistêmica sustentável

A inteligência contínua viabiliza a otimização de emissões, recursos, equidade e eficiência como resultados operacionais mensuráveis.

Governança adaptativa e frameworks de confiança

Supervisão transparente, participação e medidas de proteção ética de IA geram confiança na infraestrutura automatizada.

Integração sociotécnica para resultados centrados no ser humano

A infraestrutura tem sucesso quando viabiliza acesso equitativo, inclusão e bem-estar humano.

No centro da infraestrutura inteligente está um modelo distribuído em que inteligência em escala cloud, inferência local e detecção on-device operam como um todo coordenado.

Camadas da infraestrutura inteligente

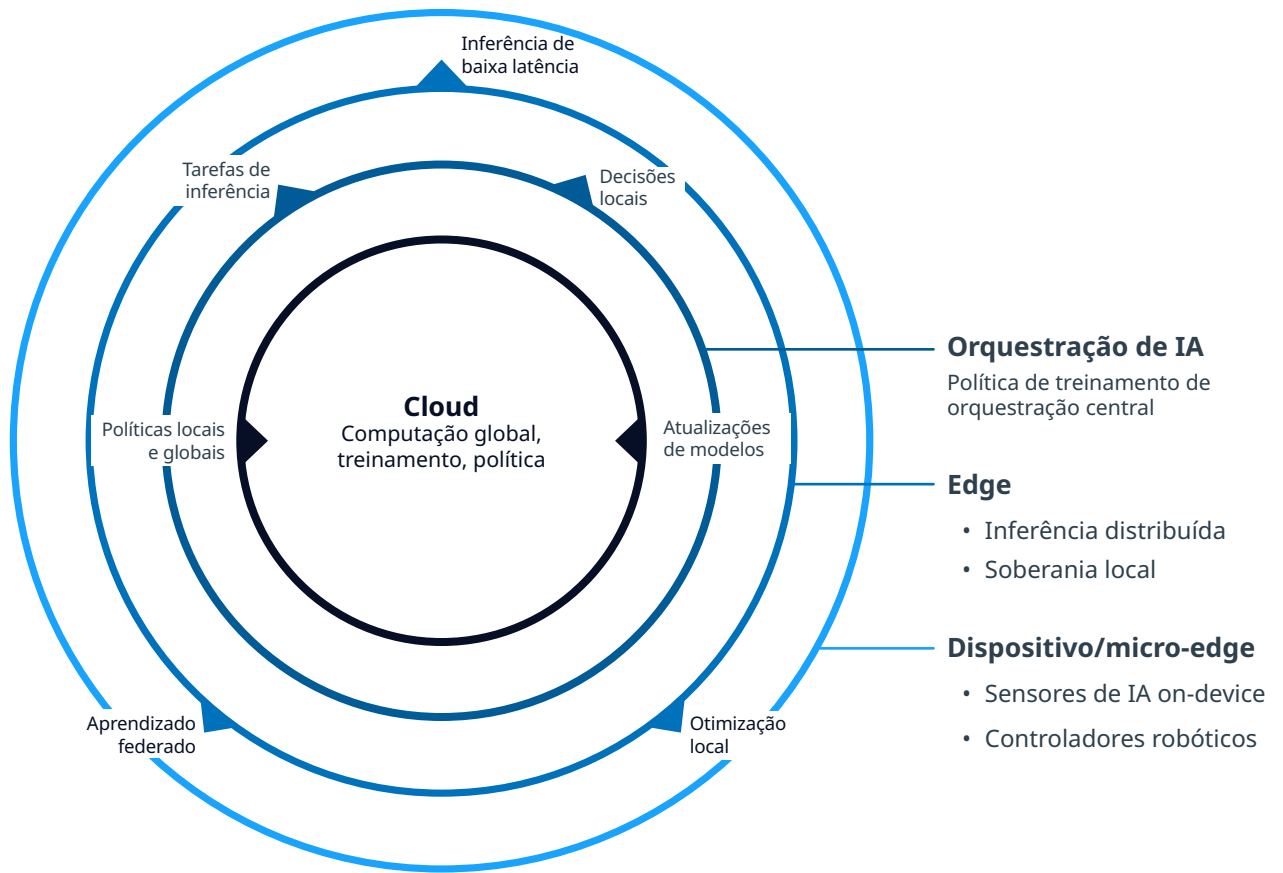


Figura 8: Camadas da infraestrutura inteligente



Panorama tecnológico

A infraestrutura inteligente surge na interseção da computação otimizada por IA, das arquiteturas híbridas cloud-edge e das bases digitais soberanas. O panorama tecnológico evolui em três horizontes.

● Agora: Fundamentos da infraestrutura inteligente

As organizações estão fortalecendo as camadas centrais de seus ecossistemas digitais enquanto se preparam para um ambiente operacional intensivo em IA.

Essa transição acelera conforme uma parcela crescente das cargas de trabalho exige inteligência em tempo real para o edge, enquanto apenas uma minoria das empresas modernizou sua infraestrutura o suficiente para dar suporte à IA em escala.

Nesse contexto, ferramentas de orquestração cloud-edge se tornam essenciais para distribuir cargas de trabalho de forma inteligente, e iniciativas locais de cloud soberana garantem controle jurisdicional e tratamento de dados em conformidade. Padrões de dados abertos e interoperabilidade viabilizam a integração fluida entre sistemas híbridos. Juntas, essas tecnologias estabelecem o ambiente fundamental para uma infraestrutura conectada, conforme e responsiva, capaz de dar suporte a operações emergentes orientadas por IA.

● Próximo passo: Escalando transparência, sustentabilidade e inteligência distribuída

À medida que a IA avança mais profundamente nas operações, a infraestrutura deve evoluir para dar suporte a maior transparência, resiliência e inteligência distribuída.

A infraestrutura autorrecuperável e de antecipação apresenta resiliência preditiva, melhorando a confiabilidade e reduzindo o tempo de inatividade não planejado. Essa capacidade é complementada pela orquestração híbrida cloud-edge-dispositivo, que permite que cargas de trabalho rodem de forma otimizada em ambientes físicos e digitais distribuídos.

Para proteger os dados enquanto expande a inteligência em edge, o aprendizado federado e a análise com preservação de privacidade permitem que organizações extraiam insights onde os dados são criados, sem comprometer a conformidade. Enquanto isso, a infraestrutura de computação sustentável se acelera à medida que empresas adotam operações com consciência energética, demonstrando que a sustentabilidade está cada vez mais integrada ao design da infraestrutura e não tratada como um requisito externo de relatórios.

Supervisionando toda essa complexidade, motores de governança adaptativa introduzem explicabilidade, auditabilidade e automação de políticas em sistemas orientados por IA. Coletivamente, essas capacidades elevam a infraestrutura da gestão reativa para a inteligência distribuída proativamente coordenada, com melhorias operacionais mensuráveis.

● Futuro: Rumo a ecossistemas de infraestrutura autônomos e soberanos

Olhando para o futuro, a infraestrutura evolui para uma rede altamente autônoma, alinhada à soberania e globalmente interoperável.

Camadas de infraestrutura cognitiva integram IA, computação de alto desempenho e redes de sensores para dar suporte à previsão e otimização de forma contínua em todos os sistemas. À medida que essas capacidades amadurecem, surgem ecossistemas de infraestrutura totalmente autônomos, coordenando fluxos de computação, energia e dados com intervenção humana mínima.

Além das organizações individuais, frameworks de infraestrutura global interoperáveis viabilizarão a colaboração transfronteiriça em recursos computacionais, práticas de sustentabilidade e governança digital. Ao mesmo tempo, redes de computação soberana proporcionam a nações e regiões controle permanente sobre capacidades críticas de IA, garantindo resiliência digital de longo prazo. Essas trajetórias apontam para a infraestrutura se tornando uma camada operacional inteligente e estratégica para economias e sociedades.

Radar tecnológico

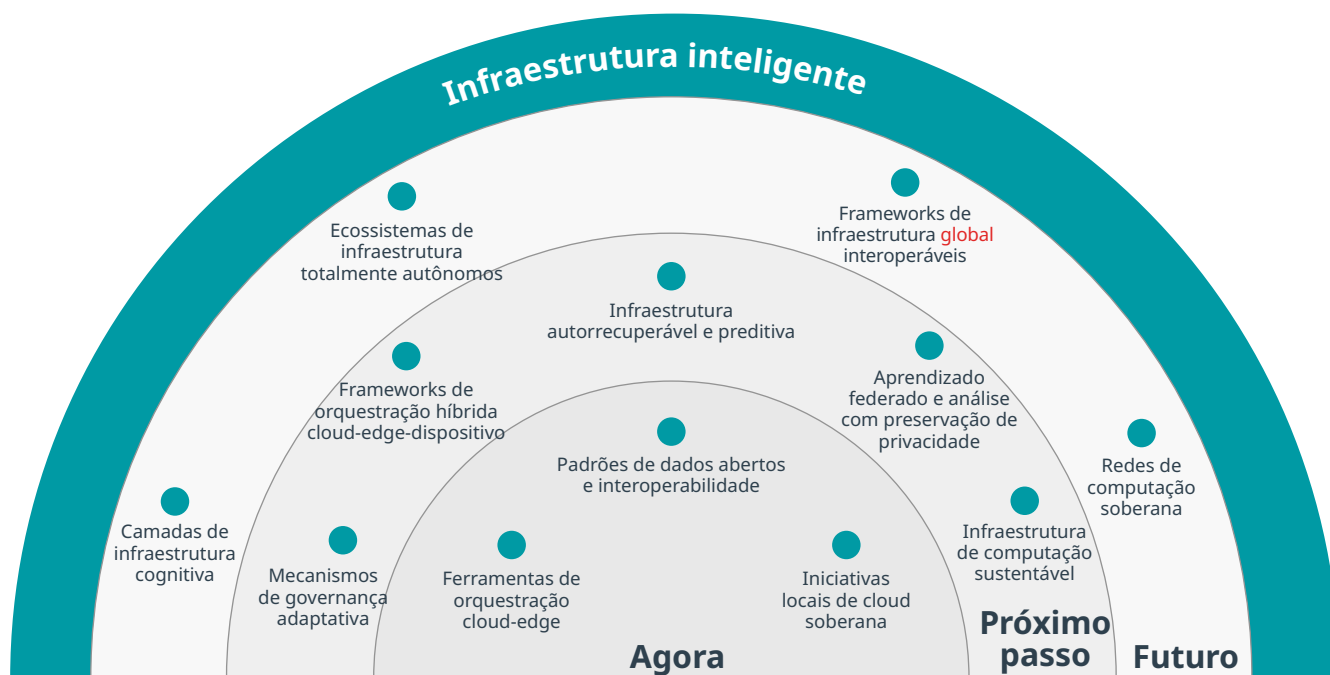


Figura 9: Infraestrutura inteligente: radar tecnológico

Sinais e ecossistema

Sinais de mercado

Categoria	Tamanho de mercado 2024 (em bilhões de dólares)	Tamanho de mercado 2029 (em bilhões de dólares)	CAGR (2024 a 2029)
Infraestrutura de IA em edge	3,65	11,37	25,5%
Infraestrutura global de IA	56,97	186,27	26,7%
Mercado de infraestrutura componível	8,09	32,97	32,4%
Mercado de computação híbrida cloud-edge	0,83	2,71	26,8%

Tabela 7: Infraestrutura inteligente: Tamanho de mercado e previsão¹⁶

As funções de confiança estão convergindo em stacks unificados que abrangem governança, observabilidade, proveniência e cibersegurança.

¹⁶ Sources: Technavio, Global AI Edge Infrastructure Market 2025-2029, The Business Research Company, Global AI Infrastructure Market Report 2025; Global Composable Infrastructure Market Report 2025.

Sinais de adoção empresarial

75% para 85%

das provas de conceito de GenAI falham por lacunas de infraestrutura.¹⁷

Aproximadamente

20%

das infraestruturas foram atualizadas para cargas de trabalho de IA.¹⁸



Cloud soberana e interoperabilidade **aceleram a adoção de infraestrutura pronta para auditoria.**

Sinais de parcerias setoriais

A infraestrutura inteligente é mais forte nos setores em que latência, soberania e resiliência são importantes: manufatura, setor público, energia, telecomunicações, finanças e saúde.

Insights sobre a curva de adoção

- 2024 a 2026**
A adoção de arquiteturas híbridas cloud-edge, zonas de cloud soberana e bases ricas em telemetria se acelera.
- 2026 a 2028**
Inferência distribuída, digital twins e infraestrutura autorrecuperável ganham escala em diferentes setores.
- 2028 a 2030**
A orquestração autônoma e consciente de sustentabilidade viabiliza a otimização em tempo real de computação, energia e operações.
- +2030**
Ecossistemas de infraestrutura inteligente e soberana se tornam fundamentais tanto para a resiliência nacional quanto para a empresarial.



^{17,18} Everest Group. Thematic Report. Navigating AI Infrastructure: the Backbone of the AI-Driven Era. 13 de setembro de 2024.

Startups relevantes

Startup	Visão geral	Fundada em	Estágio de financiamento	Financiamento total (USD)
Airbyte	Plataforma open source de integração de dados (ETL/ELT)* para replicar dados de diversas fontes em data warehouses.	2020	Série B	181,5 milhões
Itential	Oferece uma plataforma de automação low-code especificamente para gestão e orquestração de redes e infraestrutura de TI.	2014	Estágio de crescimento	25,5 milhões
Liquid	Empresa de infraestrutura componível que oferece software para agrupar e alocar dinamicamente GPUs, CPUs, armazenamento e rede para IA, computação de alto desempenho (HPC) e outras cargas de trabalho intensivas em dados em data centers.	2013	Pós-Série C	160 milhões
OpenDrives	Provedora de soluções de armazenamento de alto desempenho e serviços de gestão de dados para mídia, entretenimento e empresas.	2011	Série B	31 milhões
Rafay	Oferece uma plataforma de operações Kubernetes para automatizar e gerenciar aplicações containerizadas em múltiplos clusters e clouds.	2017	Série B	33 milhões
Systalyze	Startup de infraestrutura e otimização de IA que analisa e corrige ineficiências em cargas de trabalho de IA para que empresas possam rodar modelos de forma mais rápida e econômica em sua própria infraestrutura.	2025	—	—

Tabela 8: Infraestrutura inteligente: Startups relevantes¹⁹

*ELT: extrair, carregar, transformar | ETL: extrair, transformar, carregar

¹⁹ As informações apresentadas aqui são baseadas em dados obtidos do Crunchbase (<https://www.crunchbase.com/>). A precisão e a integridade dependem da fonte e podem mudar com o tempo.

Casos de uso e aplicações

Os exemplos a seguir ilustram como a infraestrutura inteligente permite que setores orquestram ambientes físico-digitais complexos por meio de inteligência contínua, computação híbrida cloud-edge e bases digitais soberanas.

01 Infraestrutura pública inteligente: cidades preditivas, eficientes e soberanas

Cidades e órgãos públicos adotam manutenção preditiva para ativos públicos, orquestração inteligente de tráfego e sistemas de otimização de água e resíduos para melhorar a confiabilidade dos serviços e a eficiência dos recursos.

A orquestração cloud-edge e os digital twins permitem que operadores de infraestrutura detectem falhas antecipadamente, otimizem fluxos em tempo real e testem intervenções virtualmente antes da implantação. Esses sistemas rodam cada vez mais em bases de cloud soberana, viabilizando conformidade, residência de dados e colaboração segura entre órgãos.

02 Operações industriais adaptativas: digital twins, edge AI e sistemas autorrecuperável

Empresas de manufatura, logística e energia implantam digital twins industriais e inferência de edge AI em ambientes híbridos cloud-edge para alcançar tomada de decisão com baixa latência e operações resilientes.

Observabilidade com IA e infraestrutura autorrecuperável viabilizam a otimização contínua de linhas de produção, manutenção preditiva de equipamentos e recuperação autônoma diante de interrupções.

A transição para redes de computação distribuída, telemetria em tempo real e infraestrutura de antecipação reduz o tempo de inatividade e melhora o desempenho em redes industriais.

03 Ecossistemas sustentáveis e distribuídos de energia e dados

Provedores de energia e grandes empresas avançam na gestão dinâmica de energia, em estratégias de data centers net-zero e em corredores digitais soberanos que coordenam computação, armazenamento e produção e distribuição de energia entre regiões.

Digital twins modelam emissões e comportamento energético em escala de rede, enquanto o escalonamento consciente de sustentabilidade direciona cargas de trabalho com base na disponibilidade de energia e na intensidade de carbono. A orquestração híbrida cloud-edge apoia a otimização local de energia, o balanceamento de redes e a integração de fontes renováveis distribuídas.

Um forte impulso de investimento em infraestrutura de computação sustentável e operações otimizadas em energia é impulsionado pela pressão regulatória e pelo crescimento constante de tecnologias de infraestrutura conscientes de energia.

Cenários futuros

A autocorreção se torna o padrão nas operações de cloud

A maioria dos incidentes em cloud é resolvida sem intervenção humana. As equipes de operações passam de corrigir problemas para validar políticas.



Principais incertezas neste cenário

- As empresas aceitarão a redução da supervisão humana?
- Os órgãos reguladores exigirão controles humanos para cargas de trabalho críticas?

Redes de digital twins substituem o monitoramento tradicional

As empresas adotam digital twins em tempo real da infraestrutura como a "fonte da verdade" operacional, simulando mudanças antes de implementá-las.



Principais incertezas neste cenário

- Os digital twins conseguirão alcançar fidelidade suficiente para permanecerem confiáveis em escala?
- A latência ou o custo da simulação se tornarão um fator limitante?

Arquiteturas edge-first superam o pensamento cloud-first

A computação se orchestra a partir dos dispositivos edge para dentro; a cloud passa a funcionar como coordenação em vez de computação central.



Principais incertezas neste cenário

- A inteligência de orquestração amadurecerá o suficiente para que o silício otimizado para edge substitua a computação centralizada em GPU na maioria das decisões em tempo real?
- As organizações abraçarão a orquestração distribuída ou temerão a perda de controle?



Conclusões estratégicas



Trate a infraestrutura como uma camada estratégica de inteligência, não como uma utilidade técnica

As organizações devem evoluir de bases de TI estáticas para arquiteturas híbridas cloud-edge otimizadas por IA, ricas em telemetria. Isso significa atualizar proativamente redes, armazenamento e computação para inferência em tempo real, soberania e sustentabilidade.



Integre soberania e interoperabilidade nas decisões de arquitetura

Com a aceleração da adoção de cloud soberana e os padrões de interoperabilidade se tornando essenciais, as escolhas de infraestrutura devem garantir governança, controle jurisdicional e modularidade de fornecedores. Investir em padrões abertos, comonibilidade e silício especializado reduz o risco de dependência e prepara as organizações para mudanças regulatórias.



Operacionalize a sustentabilidade por meio de inteligência, não de relatórios

O escalonamento consciente de energia e os digital twins transformam as considerações ESG (ambiental, social e governança) de um peso de conformidade em otimização operacional em tempo real. As organizações que integram a sustentabilidade nas operações de infraestrutura, e não apenas em dashboards, alcançam reduções mensuráveis em custo, consumo de energia e emissões.



- Se nossa infraestrutura fosse totalmente auto-otimizada, alinhada à soberania e consciente de energia, como reprojeteríamos nosso modelo operacional para aproveitar essas capacidades?
- Compreendemos quais decisões devem ser automatizadas pela infraestrutura inteligente e quais devem permanecer sob liderança humana?
- Quão resiliente é nossa estratégia de infraestrutura a choques no suprimento de energia, na geopolítica ou na soberania regulatória?

5 Ecossistemas soberanos de silício

O que é e por que é relevante agora

A base de hardware da inteligência em massa

Tensões geopolíticas, fragilidade das cadeias de suprimentos, demanda computacional impulsionada pela IA e preocupações crescentes com segurança nacional transformaram os semicondutores em um ativo estratégico definidor. O controle sobre o silício agora equivale a controle sobre capacidade computacional, fluxos de dados, inteligência e influência geopolítica. Nações e setores estão, portanto, acelerando esforços para desenvolver ecossistemas de semicondutores de ponta a ponta, desde o design de chips e a fotônica até a fabricação, o empacotamento e a reciclagem.

Essa mudança é relevante agora porque os modelos tradicionais de cadeia de suprimentos global já não conseguem garantir resiliência, estabilidade de custos ou competitividade tecnológica.

Ao mesmo tempo, avanços rápidos em IA, computação de alto desempenho e arquiteturas de próxima geração exigem computação especializada e heterogênea que as cadeias de suprimento legadas não conseguem entregar sozinhas. Os ecossistemas soberanos de semicondutores oferecem um caminho para liderança em inovação, independência tecnológica, manufatura sustentável e vantagem colaborativa.

Os sistemas também ancoram a base de hardware da inteligência em massa, fornecendo a computação especializada, resiliente e de alto desempenho necessária para sistemas autônomos, ricos em dados e globalmente distribuídos.

Conceitos fundamentais

Semicondutores como viabilizadores de IA e HPC

Os chips alimentam a IA e a computação de alto desempenho, definindo a competitividade na inovação orientada por dados.

Soberania de dados e controle da infraestrutura digital

A posse da camada de silício proporciona bases confiáveis para ecossistemas digitais seguros e soberanos.

Cadeias de suprimentos sustentáveis e éticas

Sourcing responsável, reciclagem e manufatura energeticamente eficiente influenciam a competitividade futura dos semicondutores.

Design e manufatura acelerados por IA

A IA reduz os ciclos de desenvolvimento de chips e melhora o rendimento, aprimorando resiliência e agilidade.

Redes globais resilientes e adaptáveis

Ecossistemas de semicondutores flexíveis e colaborativos equilibram soberania com fluxos globais de inovação.

Autonomia industrial e tecnológica

As capacidades domésticas de produção de semicondutores reduzem as dependências externas e fortalecem a capacidade de inovação nacional.

Ecossistemas de inovação e vantagem colaborativa

Parcerias público-privadas-acadêmicas aceleram a inovação em chips alinhada a prioridades nacionais.

Vantagem competitiva impulsionada pela tecnologia

A liderança em manufatura avançada e na criação de propriedade intelectual (PI) impulsiona a influência global.

A fotônica como o próximo desafio para a soberania em semicondutores

A integração óptica viabiliza uma computação ultrarrápida e eficiente em termos de energia para aplicações de última geração.

A soberania no silício não é uma capacidade única, mas um sistema de alavancas estratégicas que abrange design, manufatura, materiais, integração, conhecimento e energia.

Alavancas de soberania

01 Soberania de design e PI
Controle de arquiteturas de chips, aceleradores, núcleos de PI e ferramentas de engenharia

03 Soberania de manufatura e processos
Acesso a nós de fabricação avançados e especializados e conhecimento profundo de processos

05 Soberania de materiais, equipamentos e suprimentos
Controle de minerais críticos, wafers, ferramentas de litografia e ecossistemas de fornecedores

02 Soberania de empacotamento avançado e integração
Chiplets, integração 2.5D/3D e montagem de sistemas heterogêneos

04 Soberania de conhecimento, talentos e academia
Capacidade de P&D de longo prazo, universidades, laboratórios público-privados e pipelines de força de trabalho

06 Soberania de energia e meio ambiente
Energia estável e de baixo carbono, disponibilidade de água, refrigeração e instalações de fabricação sustentáveis

Figura 10: Alavancas de soberania



Panorama tecnológico

Os ecossistemas soberanos de semicondutores são viabilizados por uma stack em rápido avanço de tecnologias de fabricação, arquiteturas de computação heterogênea, hardware confiável e aceleração energeticamente eficiente. Essas tecnologias deslocam o silício da condição de commodity globalizada para a de infraestrutura estrategicamente governada, que entrega capacidade computacional segura, de alto desempenho e soberana para IA, HPC e sistemas nacionais críticos.

● **Agora:** Capacidades maduras formando a infraestrutura computacional soberana atual

As implantações atuais dependem de fabricação avançada de semicondutores, modelos de fundição confiável e polos regionais de semicondutores, apoiados por investimentos públicos massivos.

Essas capacidades fortalecem a soberania de manufatura e reduzem a exposição a cadeias de suprimentos globais concentradas.

Desempenho e flexibilidade são viabilizados por arquiteturas de chiplets e chips aceleradores de IA, um segmento que deve dominar as implantações em data centers e cloud soberana à medida que a demanda por IA cresce exponencialmente.

Transparência e confiança soberana são sustentadas por redes de confiança em hardware seguro, computação confidencial e modelos de rastreabilidade de semicondutores, enquanto a manufatura sustentável de chips e o empacotamento avançado entregam ganhos de desempenho por watt, apoiando tanto os objetivos de resiliência quanto de eficiência energética.

● **Próximo passo:** Tecnologias em escala viabilizando IA soberana e computação distribuída

A próxima onda incorpora inteligência, segurança e sustentabilidade mais profundas no ciclo de vida do silício.

O design de chips assistido por IA e a fabricação acelerada por IA diminuem ciclos de desenvolvimento e aumentam o desempenho. Esses resultados são críticos à medida que a complexidade do design e a demanda nacional por computação soberana de IA se aceleram. Edge AI e inferência em escala levam a computação soberana a plantas industriais, sistemas de mobilidade e infraestrutura nacional, alinhando o silício à autonomia e às necessidades operacionais em tempo real.

A sustentabilidade se torna sistêmica por meio de computação com monitoramento das emissões de carbono e manufatura net-zero, viabilizando que nações equilibrem o crescimento computacional com compromissos ambientais.

O endurecimento da segurança se intensifica: plataformas confiáveis de IA em silício, criptografia à prova de computadores quânticos e criptografia pós-quântica (PQC) protegem cargas de trabalho nacionais contra ameaças avançadas e emergentes, apoiando a conformidade com mandatos de soberania e residência de dados.

Na camada de arquitetura, a integração híbrida fotônica-eletrônica começa a viabilizar interconexões de alta largura de banda e baixa energia para HPC e infraestrutura de cloud soberana.

● **Futuro:** Tecnologias de ponta para criar computação soberana autônoma e de alto desempenho

O desenvolvimento de longo prazo aponta para arquiteturas de silício capazes de dar suporte a ambientes de computação nacional autônomos.

A fotônica de silício em escala total e as arquiteturas de computação óptica oferecem desempenho ultraelevado e eficiência energética totalmente aprimorada para simulação, modelagem climática e cargas de trabalho de IA de próxima geração.

Enquanto isso, chips neuromórficos avançados e bio-inspirados introduzem modelos de computação orientados por eventos, com spiking e analógicos, que viabilizam detecção em tempo real, robótica autônoma e sistemas nacionais de edge com restrição energética em escala sem precedentes.

Juntas, essas tecnologias apresentam as bases para uma computação soberana que não é apenas segura e autodeterminada, mas também adaptativa, ultraeficiente e capaz de alimentar futuras infraestruturas nacionais de inteligência.

Radar tecnológico



Figura 11: Ecosistemas soberanos de silício: radar tecnológico

Sinais e ecossistema

Sinais de mercado

Categoria	Tamanho de mercado 2024 (em bilhões de dólares)	Tamanho de mercado 2029 (em bilhões de dólares)	CAGR (2024 a 2029)
Mercado global de semicondutores	540,7*	892,6*	10,6%*
Empacotamento avançado	42	76	10,6%
Cloud soberana global	124,1*	377,7*	24,6%
Mercado de chips de IA	120	500	35%

Tabela 9: Ecosistemas soberanos de semicondutores: Tamanho de mercado e previsão ²⁰

*Estimativas internas

A demanda computacional impulsionada pela IA está alimentando investimentos em semicondutores soberanos em escala sem precedentes.

²⁰ Sources: World Semiconductor Trade Statistics. Comunicado de imprensa. Global Semiconductor Market Approaches \$1T in 2026, 2 de dezembro de 2025.

Fortune Business Insights. Semiconductor market size, share and industry analysis, 2026–2034, 9 de fevereiro de 2026.

Fortune Business Insights. Sovereign cloud market size, share and industry analysis, 2026–2034, 9 de fevereiro de 2026.

Everest Group. Thematic Report. From Silicon to Strategy: Mapping the AI Chip Value Chain, 2 de setembro de 2025.

Sinais de adoção empresarial

Servidores com acelerador integrado são a infraestrutura preferida para plataformas de IA, representando

70%

do gasto total em infraestrutura de servidor para IA.²¹

O CHIPS and Science Act aloca aproximadamente

US\$ 52,7 bilhões

para fortalecer a manufatura e a pesquisa de semicondutores nos EUA por meio de incentivos, financiamento de P&D e programas de força de trabalho.²²



A UE lançou o European Chips Act para fortalecer a capacidade de produção de semicondutores e a P&D relacionada nos estados-membros por meio de incentivos de financiamento público e suporte regulatório, como parte da política industrial da UE.

Sinais de parcerias setoriais

A necessidade de semicondutores soberanos é maior nos setores de defesa, telecomunicações, automotivo e automação industrial, todos os quais exigem computação confiável e de alto desempenho.

Insights sobre a curva de adoção

2025 a 2027

As lacunas de soberania se tornam visíveis à medida que a demanda por computação confiável e de alto desempenho supera as cadeias de suprimentos existentes.

2027 a 2029

Nações e empresas selecionadas amadurecem seus stacks soberanos de silício por meio de design, fabricação e empacotamento domésticos.

2029 a 2032

Arquiteturas heterogêneas e energeticamente eficientes (chipllets, fotônica, aceleradores de IA) se tornam bases computacionais convencionais.

+2032

Redes de computação soberana e ecossistemas avançados de silício impactam alianças globais e estruturas de poder da economia digital.



²¹ IDC. Comunicado de imprensa. Artificial Intelligence Infrastructure Spending to Surpass the \$200Bn USD Mark in the Next 5 years. According to IDC, 18 de fevereiro de 2025. ²² National Institute of Standards and Technology (NIST). Federal Programs Supporting the U.S. Semiconductor Supply Chain and Workforce, 18 de março de 2024.

Startups relevantes

Startup	Visão geral	Fundada em	Estágio de financiamento	Financiamento total (USD)
Axelera AI	Desenvolvedora de hardware de IA de ultrabaixa potência e alto desempenho para aplicações edge.	2021	Série B/Grant	203 milhões
Lightmatter	Projeta e desenvolve chips computacionais fotônicos que usam luz em vez de eletricidade para computação de IA/ML mais rápida e eficiente.	2017	Série D	850 milhões
Silicon Catalyst	Incubadora/aceleradora focada exclusivamente em viabilizar startups de hardware de semicondutores.	2015	N/A (Aceleradora)	—
Xscape Photonics	Desenvolve tecnologia avançada de fotônica de silício para comunicação de dados e computação mais rápida e energeticamente eficiente.	2022	Série A	57 milhões

Tabela 10: Ecossistemas soberanos de silício: Startups relevantes²³

²³ As informações apresentadas aqui são baseadas em dados obtidos do Crunchbase (<https://www.crunchbase.com/>). A precisão e a integridade dependem da fonte e podem mudar com o tempo.

Casos de uso e aplicações

Os exemplos a seguir ilustram como os ecossistemas soberanos de silício são convertidos de política industrial e controle da cadeia de suprimentos em capacidades nacionais reais para infraestrutura crítica, indústria e sistemas globais.

01 Redes de computação soberana de IA para setores críticos

Para dar suporte a setores regulamentados como saúde, finanças, transporte e serviços públicos, nações implantam plataformas de soberania em IA, clusters domésticos de aceleradores de IA (GPUs e outros aceleradores desenvolvidos sob medida) construídos sobre chips de fundições confiáveis e infraestrutura de cloud soberana.

Aceleradores de IA energeticamente eficientes e computação verde viabilizada por fotônica permitem que setores rodem modelos de alto desempenho com consumo de energia significativamente menor, apoiando mandatos de sustentabilidade ao mesmo tempo que reduzem a dependência de provedores computacionais estrangeiros.

Essa rede de computação soberana funciona como infraestrutura crítica compartilhada para a economia digital, viabilizando análises com preservação de privacidade, digital twins nacionais, otimização de mobilidade autônoma e colaboração segura entre setores.

02 Autonomia industrial segura e sistemas nacionais de controle de edge

Os setores de manufatura, energia, mobilidade e logística adotam inferência segura de IA em edge usando eletrônicos de controle produzidos localmente e controladores industriais confiáveis.

Isso viabiliza autonomia operacional para fábricas, redes elétricas, hubs de transporte, portos e logística de defesa, ambientes em que latência, segurança e risco geopolítico impossibilitam a dependência de silício externo ou serviços cloud.

Módulos prontos para PQC e hardware de identidade soberana protegem cada dispositivo, enquanto a inferência edge permite detecção de anomalias em tempo real, manutenção preditiva e tomada de decisão autônoma em múltiplos setores.

O resultado é uma infraestrutura nacional resiliente em que decisões de segurança crítica permanecem dentro dos limites de soberania.

03 Plataformas estratégicas de silício para espaço, comunicações e alianças globais

Operadoras de telecomunicações, agências aeroespaciais e setores de defesa adotam redes de comunicação seguras, aceleradores soberanos de IA e chips tolerantes a radiação para alimentar sistemas nacionais de satélite e espaço.

Essas plataformas soberanas de silício sustentam links de satélite criptografados, coordenação de resposta a desastres, monitoramento climático, segurança marítima e comunicações transfronteiriças críticas.

Como os chips e os sistemas de controle são governados domesticamente, nações ganham influência na diplomacia de inovação, formando alianças estratégicas de semicondutores, influenciando padrões e usando o silício soberano como ativo em negociações comerciais e parcerias internacionais.

Setores que vão da agricultura e seguros até logística e mineração dependem desses sistemas soberanos de espaço e comunicação para serviços de precisão e conectividade resiliente.

Cenários futuros

Marketplaces de chiplets surgem a partir de provedores de cloud

Provedores de cloud começam a oferecer configurações modulares de chiplets para que organizações possam personalizar aceleradores de acordo com suas cargas de trabalho.



Principais incertezas neste cenário

- Os padrões de chiplets amadurecerão rápido o suficiente para uma compatibilidade ampla?
- Os detentores de PI permitirão configurabilidade significativa?

Zonas regionais de computação transformam o panorama global da cloud

Nações criam polos regionais de computação soberana com cadeias de suprimentos domésticas obrigatórias, forçando clouds a distribuir cargas de trabalho de IA geopoliticamente.



Principais incertezas neste cenário

- Os investimentos nacionais alcançarão desempenho competitivo?
- A portabilidade de dados ou modelos funcionará de forma confiável entre zonas soberanas?

Sistemas neuromórficos, quânticos e fotônicos redefinem o paradigma computacional

Quando o escalonamento tradicional atinge um platô, empresas adotam aceleradores neuromórficos e fotônicos para cargas de trabalho de inferência e planejamento de baixa energia.



Principais incertezas neste cenário

- Os ecossistemas de software amadurecerão rápido o suficiente para dar suporte a essas arquiteturas?
- A orquestração de hardware heterogêneo conseguirá se tornar transparente?



Conclusões estratégicas



Trate o silício como infraestrutura crítica nacional e empresarial

As organizações devem assumir que o controle sobre chips, aceleradores e capacidade computacional segura determinará sua capacidade de operar, inovar e cumprir requisitos de soberania. Priorizar parcerias com fundições confiáveis, ecossistemas domésticos de empacotamento e provedores de cloud soberana se torna essencial para garantir resiliência de longo prazo.



Construa uma estratégia de computação heterogênea e energeticamente eficiente

Arquiteturas de chiplets, aceleradores de IA energeticamente eficientes e sistemas viabilizados por fotônica permitem que empresas escalem cargas de trabalho de IA de forma sustentável e economicamente viável. As empresas devem projetar para modularidade, aceleradores mix-and-match e inferência edge para reduzir sua dependência de cadeias de suprimentos de fornecedor único ou região única.



Integre confiança enraizada em hardware a cada implantação de IA e infraestrutura

Hardware de identidade segura, módulos prontos para PQC e controladores industriais confiáveis devem se tornar a linha de base para qualquer aplicação de IA ou infraestrutura crítica. Isso facilita a integridade dos dados, a segurança operacional e a conformidade em sistemas distribuídos, de fábricas e redes de energia a transporte e serviços nacionais.



- Se nossa organização perdesse acesso ao seu suprimento atual de chips ou aceleradores cloud por seis meses, quanto da nossa IA, tecnologia operacional e infraestrutura digital poderíamos continuar operando? O que precisaria ser soberano para mantermos a resiliência?
- Estamos projetando nossas cargas de trabalho de IA e infraestrutura para serem portáteis entre ambientes de computação heterogêneos e soberanos?
- Quais partes do nosso ecossistema de silício devem ser controladas diretamente? E onde parcerias estratégicas geram mais resiliência do que a propriedade total?

6 Da eficiência ilusória à suficiência

O que é e por que é relevante agora

Redefinindo como a inteligência em massa evolui

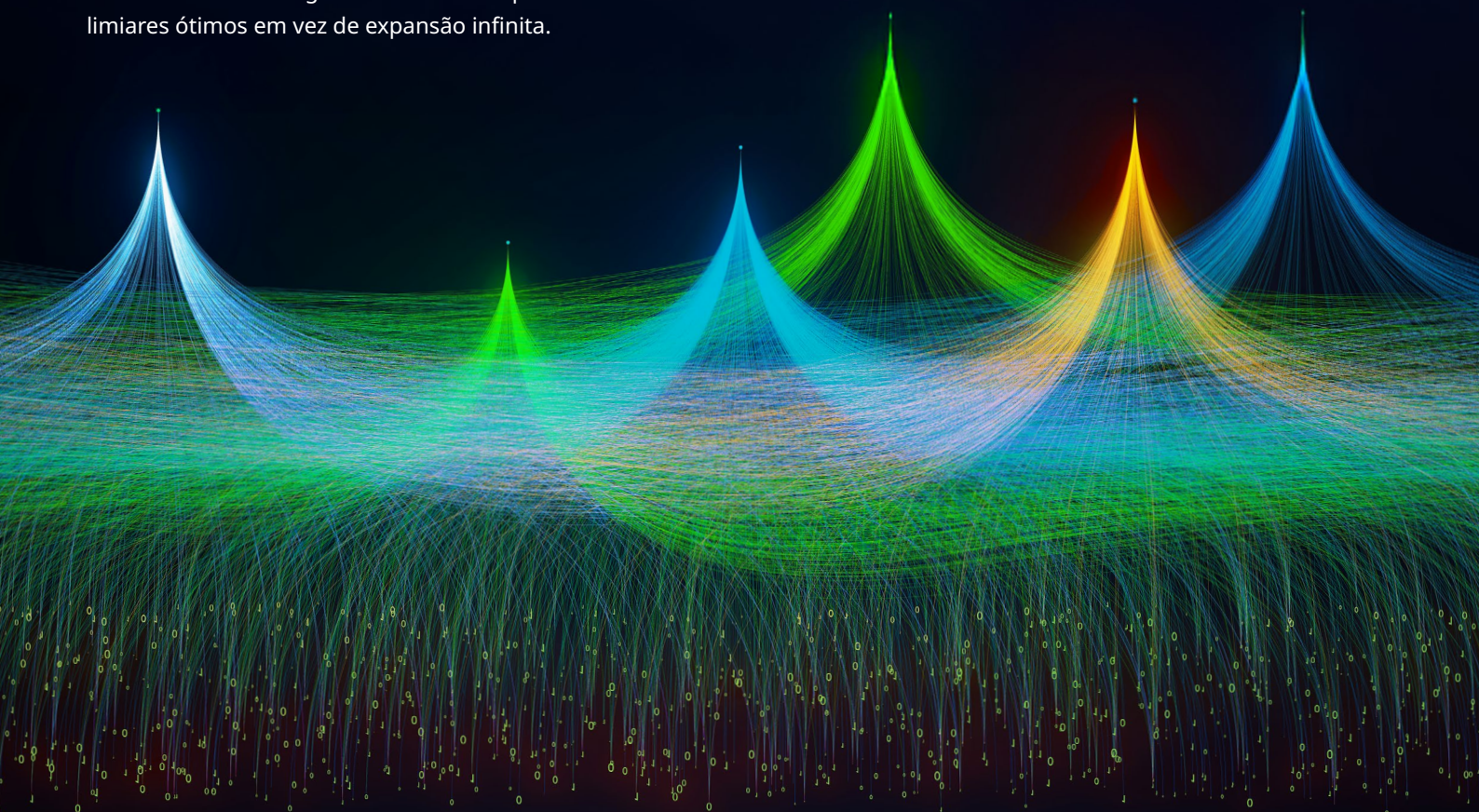
Após décadas de otimização por velocidade, escala e custo, as organizações estão confrontando os limites do crescimento orientado por eficiência. Instabilidade climática, escassez de energia, pressão regulatória e expectativas sociais exigem um modelo fundamentalmente diferente, que priorize resiliência, adequação de longo prazo e equilíbrio ecológico.

A suficiência é relevante hoje porque a eficiência sozinha já não consegue garantir estabilidade ou credibilidade; em alguns casos, ela acelera o risco sistêmico ao maximizar ganhos de curto prazo às custas dos limites planetários.

O paradigma da suficiência reposiciona a tecnologia como ferramenta de moderação inteligente, usando IA, digital twins e sistemas integrados de recursos para identificar limiares ótimos em vez de expansão infinita.

Essa abordagem gera valor compartilhado na forma de menor impacto ambiental, maior resiliência comunitária, melhores condições de trabalho e práticas empresariais mais confiáveis. A suficiência sinaliza uma mudança cultural e estratégica para um ponto em que o progresso é definido não por "mais", mas por crescimento intencional, responsável e sustentável.

A suficiência também redefine como a inteligência em massa evolui, garantindo que sistemas inteligentes operem dentro dos limites ecológicos e sociais, e direcionem suas capacidades para a resiliência de longo prazo em vez da expansão sem controle.



Conceitos fundamentais

Suficiência como mentalidade estratégica

As organizações passam de maximizar a produção para otimizar a adequação de longo prazo dentro dos limites ecológicos, e assim preparar seus modelos de negócio para o futuro.

Gestão sistêmica de recursos

A gestão integrada de energia, água e materiais minimiza as pegadas totais de recursos em todos os sistemas.

Responsabilidade ambiental integrada

Os impactos ao longo do ciclo de vida (carbono, biodiversidade, água) são avaliados e mitigados em cada etapa de planejamento, design e operação.

Resiliência acima da otimização

O desempenho prioriza adaptabilidade e robustez em vez do custo mínimo.

Ciclos de transparência e credibilidade

Ferramentas digitais (IoT, avaliação de ciclo de vida (ACV), blockchain) garantem desempenho de sustentabilidade rastreável e pronto para auditoria.

Cobenefícios humanos e ecológicos

A suficiência melhora as condições de trabalho, a resiliência comunitária e a saúde dos ecossistemas.

Governança adaptativa e responsabilidade compartilhada

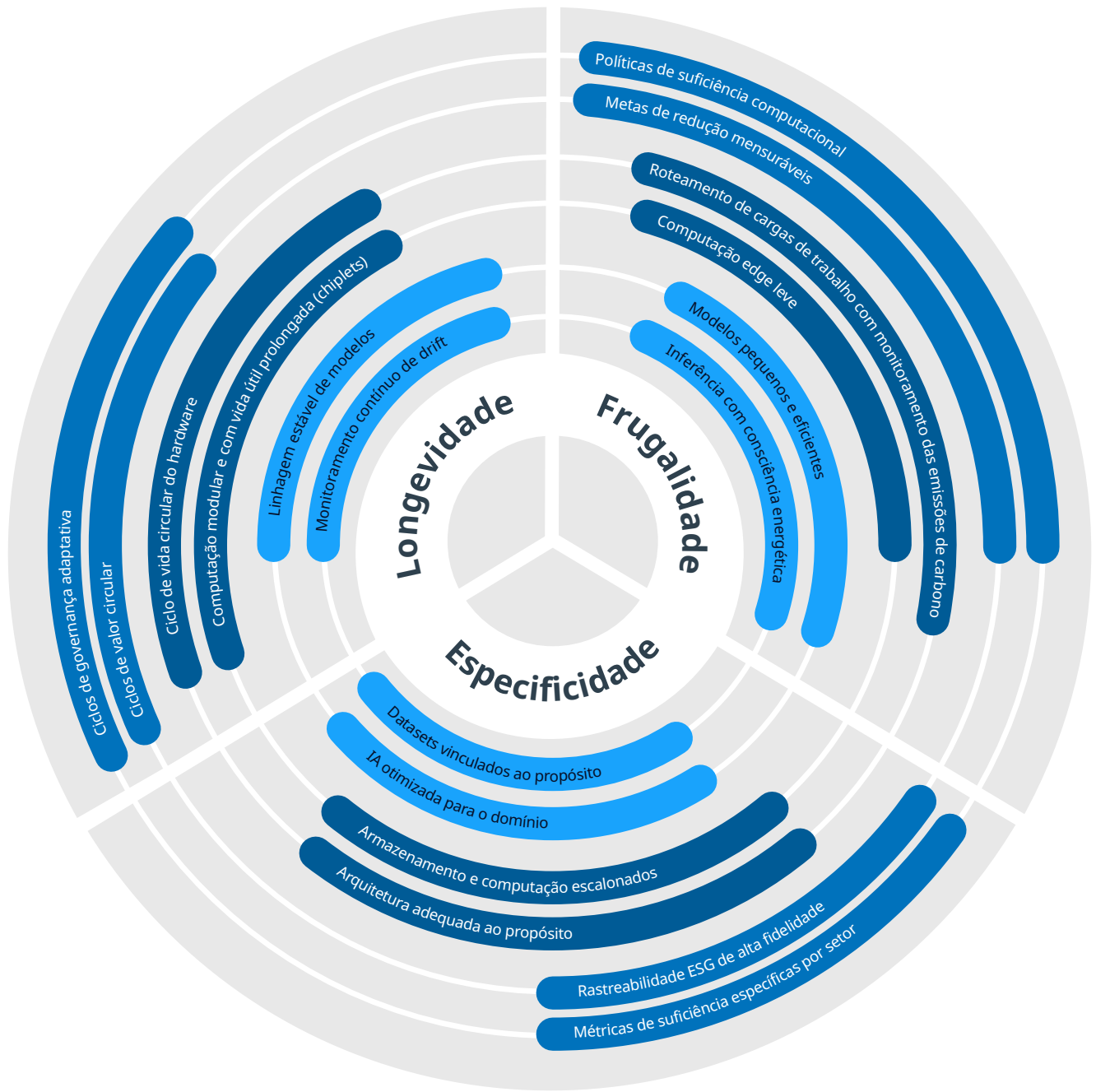
Padrões e métricas cocriados alinham as escolhas operacionais aos objetivos da sociedade.

Habilitadores tecnológicos para escala responsável

IA, automação e digital twins identificam limiares de suficiência e conectam eficiências locais a transições sistêmicas.

O círculo da suficiência tecnológica mapeia as dimensões centrais da suficiência tecnológica, mostrando como IA, infraestrutura digital e governança devem evoluir para equilibrar desempenho com uso responsável de recursos no longo prazo.

Círculo da suficiência tecnológica



Governança e suficiência social

(Camada de alinhamento sistêmico)

Infraestrutura digital e suficiência de sistemas

(Centro da arquitetura)

Suficiência de dados e IA

(Centro da inteligência)

Figura 12: Círculo da suficiência tecnológica

Panorama tecnológico

O panorama tecnológico da macro-tendência "da eficiência ilusória à suficiência" é definido por capacidades que deslocam as organizações da otimização incremental para a redução verificável e mensurável.

● Agora: **Sistemas de redução operacional**

As organizações estão implantando tecnologias que entregam economias de recursos imediatas e quantificáveis.

Monitoramento de recursos baseado em IoT e sistemas de gestão de energia habilitados por IA proporcionam visibilidade contínua dos padrões de consumo, viabilizando reduções em energia, água e resíduos em poucos anos. Sistemas de manufatura circular, plataformas de design sustentável e práticas de sustentabilidade por design integram longevidade, reparabilidade e design de insumos mínimos ao desenvolvimento de produtos e serviços.

No nível da infraestrutura, frameworks de edifícios inteligentes e cidades inteligentes otimizam o uso de recursos em aquecimento, refrigeração, iluminação, mobilidade e utilidades, enquanto sistemas de gestão de energia renovável orquestram fluxos de energia de baixo carbono. Plataformas de contabilidade de carbono com Inteligência Artificial e sistemas de administração circular de ativos de TI fornecem as informações auditáveis necessárias para atender a requisitos e normas como a Diretiva de Relatórios de Sustentabilidade Corporativa (CSRD), a Diretiva de Due Diligence de Sustentabilidade Corporativa (CSDDD) e o Conselho Internacional de Padrões de Sustentabilidade (ISSB), simbolizando uma mudança mais abrangente dos relatórios para a redução fundamentada em evidências.

● Próximo passo: **Circularidade preditiva e computação de baixo carbono**

À medida que a suficiência amadurece, as empresas adotam sistemas que viabilizam a otimização preditiva e intersetorial de recursos.

Computação com monitoramento das emissões de carbono e data centers net-zero reduzem a pegada das operações digitais ao alinhar cargas de trabalho com a disponibilidade de energia de baixo carbono. Redes totalmente fotônicas surgem como um habilitador fundamental, mitigando latência e perda de energia para dar suporte à distribuição dinâmica e de baixo carbono de cargas de trabalho entre data centers e regiões. Os digital twins para sustentabilidade modelam os fluxos de energia, materiais e emissões antes que ocorram mudanças, ajudando as organizações a antecipar os resultados de redução em vez de reagir a eles.

Os ecossistemas industriais avançam por meio da fabricação de chips sem carbono, da logística circular aprimorada por IA e da inovação de materiais com baixo teor de carbono, estendendo a suficiência às cadeias de suprimentos, à fabricação e à infraestrutura de semicondutores. Essas capacidades refletem a previsão do relatório de que os mercados de economia circular e software de sustentabilidade crescerão de forma constante até 2030.

● Futuro: **Infraestrutura de suficiência em nível de sistema**

Olhando para o futuro, a suficiência transita da prática empresarial para a infraestrutura social.

Digital twins planetários integram sistemas climáticos, de infraestrutura e econômicos para definir caminhos de suficiência de longo prazo dentro dos limites planetários. Simuladores de políticas de suficiência orientados por IA permitem que governos e cidades testem estratégias de redução de demanda, procurement circular e intervenções regulatórias antes da implementação. No nível dos sistemas de energia, fontes de baixo carbono de próxima geração, mais notavelmente a fusão nuclear, estão posicionadas como bases potenciais para energia de base estável e abundante, compatível com a suficiência. Embora ainda estejam em fase pré-comercial, os avanços em IA e computação quântica aplicados à simulação, ao controle de plasma e à ciência dos materiais estão acelerando a transição da fusão, de descoberta científica para uma infraestrutura de energia viável.

Materiais biointeligentes e economias regenerativas descentralizadas sinalizam uma transição para a criação de valor regenerativo, em que materiais, energia e ciclos de produção são inerentemente circulares. Essas inovações de longo prazo estão alinhadas com a ênfase do relatório na governança adaptativa, nos cobenefícios humano-ecológicos e na resiliência sistêmica como os principais marcadores de suficiência.

Radar tecnológico



Figura 13: Da eficiência ilusória à suficiência: radar tecnológico

Sinais e ecossistema

Sinais de mercado

Categoria	Tamanho de mercado 2024 (em bilhões de dólares)	Tamanho de mercado 2029 (em bilhões de dólares)	CAGR (2024 a 2029)
Tecnologia verde e sustentabilidade	23,1	65,30*	23,1%
Economia circular	465,20*	794,40*	11,3%
Serviços de consultoria em sustentabilidade	36,40*	114,20*	25,7%
Software de gestão de sustentabilidade/ESG	3,21*	6,88*	16,7%

Tabela 11: Da eficiência ilusória à suficiência: Tamanho de mercado e previsão²⁴

*Estimativas internas

A suficiência está evoluindo da conformidade para a redução operacional mensurável.

²⁴ Sources: Grand View Research. Market Analysis Report: Green Technology & Sustainability Market (2025–2030), The Business Research Company. Circular Economy Market Report 2026. Março de 2026. Mordor Intelligence. Sustainability Consulting Services Market Size & Share Analysis – Growth Trends and Forecast (2026–2031). Janeiro de 2026. Grand View Research. Market Analysis Report: Sustainability Management Software Market (2024–2030).

Sinais de adoção empresarial

Até meados de 2025, mais de

1.400

organizações haviam estabelecido metas de net-zero, representando **38%** de todas as organizações com essas metas.²⁵

Até 2030, mais de

65%

das empresas globais usarão software ESG orientado por Agentic AI para dar suporte ao sourcing sustentável.²⁶



Impulsionadores regulatórios (CSRD, ISSB, US Securities and Exchange Commission (SEC)) **aceleram fluxos de dados ESG verificáveis e rastreabilidade.**

Sinais de parcerias setoriais

Os setores de manufatura, finanças, varejo, saúde, logística e energia lideram a adoção de rastreabilidade, inteligência de ciclo de vida e redução verificada.

Insights sobre a curva de adoção

2024 a 2026

Sistemas de dados ESG, plataformas de rastreabilidade e inteligência de ciclo de vida ganham adoção rápida, impulsionados pela regulamentação.

2026 a 2028

A suficiência operacional ganha escala por meio de design circular, processos inteligentes em recursos e otimização por digital twins.

2028 a 2030

Reduções verificadas em energia, materiais e emissões se tornam métricas de desempenho padrão.

+2030

A suficiência se torna um modelo operacional estrutural, orientando investimentos, inovação e resiliência de longo prazo.



^{25, 26} Science Based Targets, [Data and Trends - Science Based Targets Initiative](#).

Startups relevantes

Startup	Visão geral	Fundada em	Estágio de financiamento	Financiamento total (USD)
Akselos	Oferece uma plataforma de tecnologia de simulação usando digital twins para ativos industriais (navios; infraestrutura de energia).	2012	Série A/B	29,5 milhões
CleanHub	Opera uma plataforma que ajuda marcas a financiar e gerenciar a recuperação de resíduos plásticos do meio ambiente.	2020	Semente/Venture	11,9 milhões
Felt	Ferramenta colaborativa de mapeamento e visualização de dados geoespaciais baseada na web.	2021	Venture/Série desconhecida	34,5 milhões
Neara	Plataforma de software que usa digital twins e IA para modelar, simular e gerenciar redes complexas de concessionárias e infraestrutura.	2016	Série C	60,8 milhões
Rheaply	Plataforma empresarial para troca interna de recursos e gestão de ativos, promovendo circularidade e sustentabilidade.	2015	Venture/Série desconhecida	32,8 milhões
TwinUp	Desenvolve digital twins geoespaciais em tempo real para cidades, infraestrutura e indústria, permitindo que tomadores de decisão simulem, monitorem e otimizem sistemas físicos de forma virtual.	2022	Desconhecido	7 milhões

Tabela 12: Da eficiência ilusória à suficiência: Startups relevantes ²⁷

²⁷ As informações apresentadas aqui são baseadas em dados obtidos do Crunchbase (<https://www.crunchbase.com/>). A precisão e a integridade dependem da fonte e podem mudar com o tempo.

Casos de uso e aplicações

Os exemplos a seguir ilustram como a suficiência está se tornando um modelo operacional prático em diferentes setores, viabilizada por inteligência digital, cadeias de valor circulares e dados ambientais verificáveis.

01 Infraestrutura inteligente em recursos: suficiência em microrredes e edifícios orientados por dados

Empresas e municípios estão implantando modelos de suficiência em microrredes que otimizam a geração, o armazenamento e o consumo local de energia.

Sistemas de gestão de energia habilitados por IA equilibram cargas entre ativos de energia solar, eólica, hidrogênio, baterias e a rede, permitindo que comunidades operem dentro de limiares de suficiência autodefinidos em vez de maximizar a produção.

Em paralelo, operações de edifícios orientadas por dados usam monitoramento IoT, digital twins e análises preditivas para reduzir a demanda de aquecimento, refrigeração e iluminação.

Essas capacidades viabilizam reduções significativas de energia no nível de campus, ao mesmo tempo que criam evidências prontas para auditoria em conformidade com relatórios CSRD e ISSB.

02 Produção circular e cadeias de suprimentos de baixo desperdício: IA para minimização de resíduos

Os fabricantes usam cada vez mais ciclos de manufatura circular apoiados por análises de ciclo de vida, sistemas de rastreabilidade de materiais e minimização de resíduos orientada por IA.

Digital twins modelam os ciclos de vida dos componentes para determinar se os itens devem ser reparados, remanufaturados ou reciclados, ajudando as empresas a migrar do descarte em fim de vida para ciclos regenerativos.

Redes logísticas integram roteamento circular aumentado por IA para otimizar cargas, orquestrar logística reversa e reduzir perdas de material em armazéns e fluxos de transporte. Esses sistemas transformam cadeias de suprimentos lineares em ecossistemas circulares de baixo recurso.

03 Tomada de decisões com foco no planeta: agricultura de precisão e dashboards de limites

A agricultura de precisão usa análise de solo orientada por IA, imagens multiespectrais e otimização de micro-irrigação para aumentar o rendimento e ao mesmo tempo reduzir o consumo de água, fertilizantes e combustível, alinhando a produtividade agrícola à suficiência em vez da maximização.

Esses sistemas enfatizam a gestão sistêmica de recursos e ajudam a estabilizar o uso de insumos sob restrições ambientais crescentes.

Em uma escala mais ampla, dashboards de limites planetários integram dados de satélite, inventários de emissões, métricas de uso de água e indicadores de circularidade para orientar tomadores de decisão em direção ao "suficiente".

Isso cria um índice global de suficiência que sinaliza quando os sistemas estão se aproximando dos limites ecológicos. Governos e empresas usam esses dashboards para alinhar decisões de políticas, procurement e investimento com limiares ambientais verificados.

Cenários futuros

Roteamento de cargas de trabalho com monitoramento das emissões de carbono

Cargas de trabalho de IA e cloud se movem automaticamente para regiões com menor intensidade de carbono, mesmo ao custo de latência ou preço.



Principais incertezas neste cenário

- Os clientes tolerarão trade-offs de latência em troca de computação mais verde?
- As APIs de energia e carbono se tornarão padronizadas entre regiões?

Políticas de suficiência computacional substituem a otimização de custos

As empresas impõem limites ao consumo computacional por modelo, por equipe ou por cliente, deslocando a inovação da escala para a eficiência.



Principais incertezas neste cenário

- As novas arquiteturas de hardware conseguirão reduzir a energia por computação rápido o suficiente para evitar limites rígidos?
- As pressões competitivas levarão as empresas a violar políticas de suficiência?

A reversão do tamanho dos modelos se torna padrão no setor

Modelos de linguagem pequenos, hiperespecializados e específicos por domínio superam modelos gerais massivos para a maioria das necessidades empresariais, criando uma economia de IA "pós-escala".



Principais incertezas neste cenário

- As ferramentas e a gestão do ciclo de vida dos pequenos modelos alcançarão maturidade industrial?
- Com que velocidade as organizações conseguirão migrar de LLMs generalistas para SLMs verticais?



Conclusões estratégicas



Migre da otimização para a redução absoluta

A eficiência não é mais suficiente. As organizações devem reprojeter operações, produtos e infraestruturas para entregar reduções verificáveis no total de energia, materiais e emissões, e não apenas melhorias incrementais. Isso requer integrar a suficiência por design na pesquisa, no desenvolvimento de produtos, no procurement, na produção, nos serviços e no descomissionamento.



Construa uma base digital para rastreabilidade e responsabilidade

A regulamentação agora exige dados ambientais de alta fidelidade e prontos para auditoria. As empresas devem priorizar pipelines de dados ESG, plataformas de contabilidade de carbono, análises de ciclo de vida e sistemas de gestão circular de ativos para criar uma base confiável para decisões de conformidade e redução. Evidências digitais, e não estimativas, determinarão tanto a prontidão regulatória quanto a credibilidade no mercado de capitais.



Operacionalize a circularidade em todas as cadeias de valor

A suficiência se torna escalável quando os fluxos circulares (reparo, reuso, remanufatura, recuperação) são operacionalizados por meio de IA, digital twins e rastreabilidade. Os sistemas industriais que adotam ciclos circulares e análises de redução de resíduos já alcançam economias significativas em perdas de materiais. As empresas devem integrar a circularidade ao design da cadeia de suprimentos, à logística, aos ciclos de vida de ativos de TI e aos processos de manufatura para gerar eficiência no curto prazo e resiliência no longo prazo.



- Se a eficiência não é mais o caminho para o alinhamento climático, qual parte do nosso modelo operacional precisa mudar fundamentalmente, não otimizada, mas reinventada, para alcançar o "suficiente" em vez do "mais"?
- Quais stakeholders definem a suficiência para nossa organização, e como esses limites são governados ao longo do tempo?
- Estamos preparados para reprojeter produtos, serviços e incentivos com foco em longevidade, reuso e moderação, mesmo que isso desafie modelos de receita de curto prazo?

Tecnologia em contexto: visão de futuro intersetorial

As seis macro-tendências ganham todo o seu significado quando analisadas sob a ótica da transformação do setor. Cada setor possui um ambiente regulatório diferente, expectativas de clientes, realidades operacionais e pressões competitivas, e por isso vivencia a inteligência em massa de forma diferente.

As perspectivas apresentadas aqui ilustram como a convergência tecnológica se traduz em transformação setorial, e revelam como as mesmas seis macro-tendências se manifestam de formas diferentes em cadeias de valor, cenários regulatórios e modelos operacionais.

De fábricas e hospitais a bancos, ecossistemas de mobilidade, redes de telecomunicações e seguradoras, a interação entre autonomia, sistemas sensíveis a emoções, inteligência confiável, infraestrutura soberana e design orientado pela suficiência influencia não apenas a competitividade, mas também a resiliência de setores inteiros.

O mapa de calor abaixo destaca onde as seis macro-tendências exercem maior impacto em todos os setores, fornecendo uma visão intersetorial antes de se aprofundar em cada perspectiva.

Mapa de calor de relevância das tendências

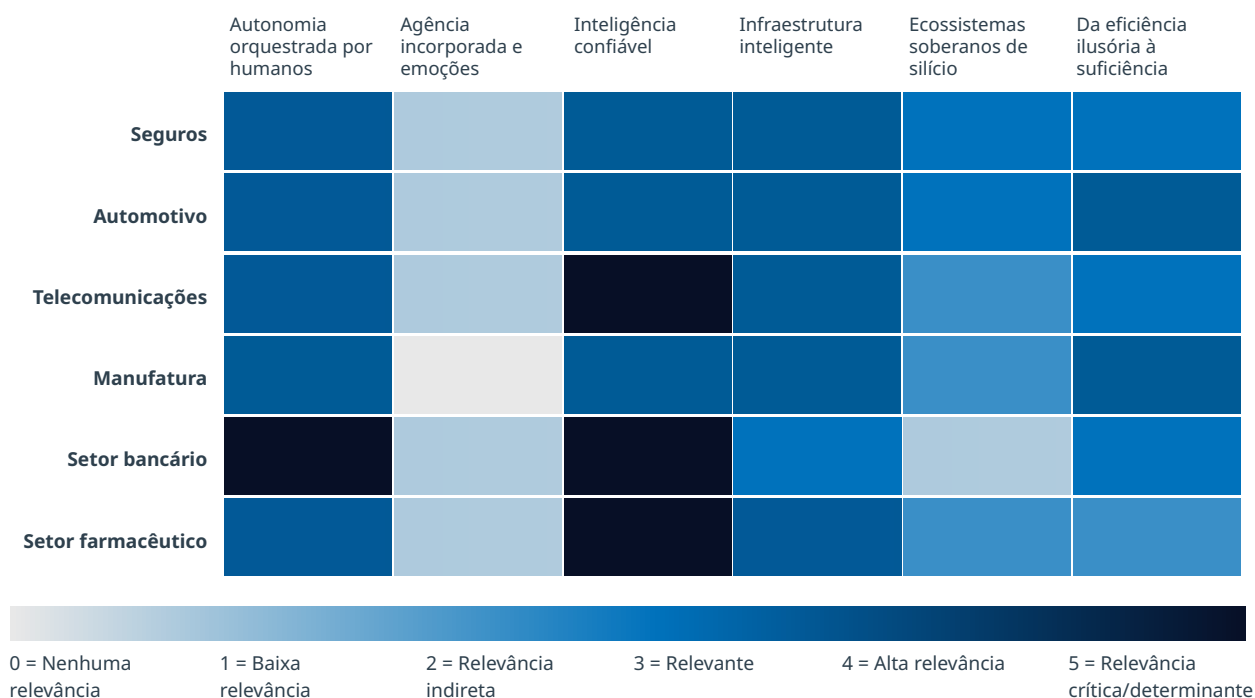


Figura 14: Mapa de calor de relevância das tendências

Perspectivas setoriais

Seguros

O setor de seguros entrou em 2026 enfrentando inflação de risco sistêmico, pressões de distribuição integrada, requisitos de soberania de dados e a disrupção operacional provocada pela automação, Agentic AI e IoT.

A gravidade das catástrofes naturais (NatCat) causadas pelo clima, a acumulação cibernética, o risco de longevidade e a fragmentação geopolítica agravam a lacuna de proteção à medida que a capacidade de resseguro se torna mais restrita e o custo do capital mais elevado.

Ao mesmo tempo, os clientes esperam experiências de seguro integradas, preventivas, hiperpersonalizadas e emocionalmente inteligentes – frequentemente entregues por meio de plataformas de terceiros. Concorrentes de insurtech aceleram essa mudança ao reprojeter precificação, subscrição e sinistros em torno de dados em tempo real e detecção contínua de riscos.

Como resultado, o setor está migrando da indenização reativa para a resiliência preditiva, preventiva e orientada por dados, apoiada por agentes inteligentes, digital twins e ecossistemas de parceiros.

Principais desafios do setor



Inflação de risco sistêmico e resiliência de portfólio

Os riscos climáticos, cibernéticos, de longevidade e geopolíticos superam os modelos tradicionais, exigindo dados mais precisos, digital twins e estratégias de resseguro mais eficientes.



Distribuição integrada, dinâmicas de plataforma e confiança do cliente

O acesso migra para plataformas de varejo, mobilidade e finanças, exigindo integração nativa por API, economia transparente e envolvimento sensível a emoções.



Subscrição, sinistros e operações orientadas por IA

A automação aumenta velocidade e precisão, mas depende de explicabilidade, controle de viés, equidade e confiança regulatória.



Cibersegurança, soberania de dados e conformidade por design

Eventos cibernéticos correlacionados, regras de privacidade e exigências de localização impulsionam a modernização com base em arquiteturas modulares e seguras desde a fase de concepção.



Prevenção, modelos circulares e integração de sustentabilidade

IoT, telemática, dispositivos vestíveis e dados comportamentais deslocam as seguradoras para prevenção contínua e precificação baseada em resultados.

Relevância das tendências na cadeia de valor de seguros

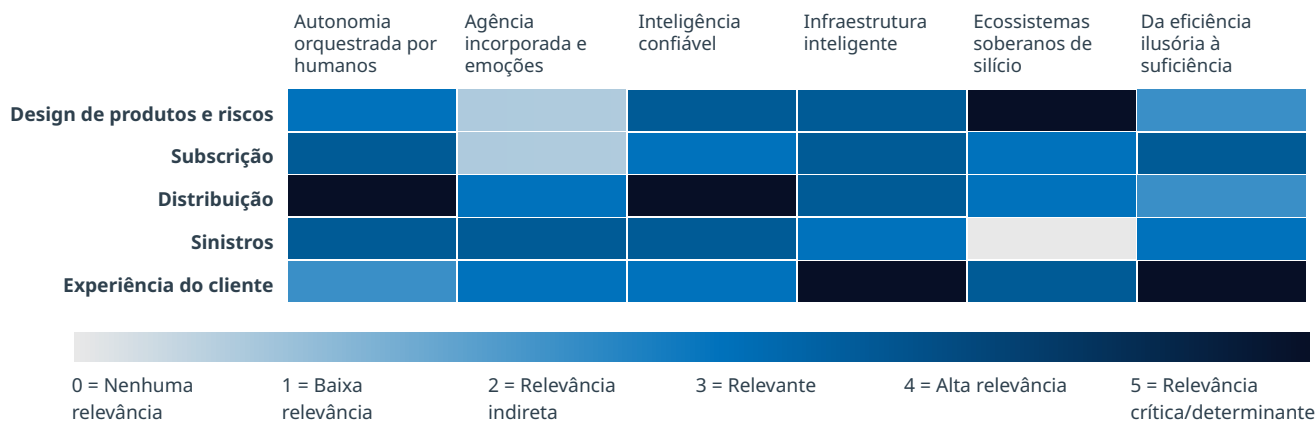


Figura 15: Cadeia de valor do setor de seguros: mapa de calor de relevância das tendências

Fatores de transformação

Operações agênticas de seguros e automação guiada por humanos

Agentes de IA orquestram subscrição, atendimento de sinistros e fluxos de trabalho de back-office em múltiplas etapas, aumentando velocidade e consistência enquanto mantêm a responsabilidade humana, o escalonamento e o controle regulatório.

Inteligência de risco em alta resolução e prevenção

Análises geoespaciais, digital twins, IoT, telemática, dispositivos vestíveis e biossensores fornecem insights quase em tempo real sobre riscos físicos, cibernéticos e comportamentais, viabilizando precificação mais precisa, prevenção e direcionamento de portfólio.

Modelos de distribuição integrados e nativos por API

Plataformas API-first permitem que o seguro seja integrado de forma fluida em jornadas de mobilidade, varejo, banking e parceiros, deslocando o crescimento de produtos autônomos para proteção contextual, baseada em uso e orientada por eventos.

Engajamento do cliente consciente de emoções e comportamento

Análises afetivas e insights comportamentais personalizam comunicação, estímulos de prevenção e interações de sinistros, fortalecendo a confiança, o engajamento e a retenção de longo prazo em jornadas cada vez mais digitais.

IA confiável, cibersegurança e governança de decisões

Modelos explicáveis, governança do ciclo de vida da IA, detecção de deepfakes e ciberdefesas adaptativas garantem que as decisões de subscrição e sinistros permaneçam auditáveis, justas e resilientes à medida que a automação escala.

Infraestrutura inteligente, modular e preparada para ecossistemas

Arquiteturas híbridas cloud-edge, camadas de dados interoperáveis e serviços modulares permitem que seguradoras escalem a IA, integrem parceiros rapidamente e respondam dinamicamente a eventos de risco sem sacrificar a confiabilidade.

Computação soberana, residência de dados e prontidão pós-quântica

Processamento na região, computação confidencial, provedores de infraestrutura diversificados e preparação antecipada para o pós-quântico fortalecem a conformidade, a resiliência e a continuidade operacional em um cenário regulatório fragmentado.

Caso de uso do setor

Digital twin geoespacial de risco e IA confiável

Uma seguradora global desenvolve um digital twin geoespacial de risco continuamente atualizado que integra imagens de satélite, modelos 3D de propriedades, mapas de perigos, dados históricos de perdas e insights de exposição. Antes de eventos catastróficos, as equipes simulam concentração de risco, severidade de perdas e estratégias de resseguro. Durante e após eventos de perda em larga escala, modelos de IA confiável atualizam o digital twin usando imagens, IoT e dados de sinistros, propondo melhores próximas ações, desde ajustes na triagem até pagamentos paramétricos.

Resultados

- Estimativa de perdas mais rápida e precisa
- Suporte mais precoce ao cliente
- Redução de fraudes
- Decisões de portfólio mais resilientes
- Relatórios transparentes para órgãos reguladores e resseguradoras

Prioridades estratégicas

01

Construa sistemas de inteligência de risco para portfólios resilientes

Integre dados geoespaciais, IoT, telemática, biossinais e digital twins para orientar subscrição, precificação, acumulação e alocação de capital.

02

Industrialize a Agentic AI responsável em toda a cadeia de valor

Implante frameworks governados de XAI para subscrição, sinistros, fraude e operações de atendimento ao cliente.

03

Migre para modelos integrados, preventivos e orientados por emoções

Use análises comportamentais, biometria, telemática e APIs integradas para entregar prevenção personalizada e proteção fluida dentro das jornadas dos clientes.

Automotivo

O setor automotivo entrou em 2026 sob intensa pressão para eletrificar de forma lucrativa, escalar veículos definidos por software (SDVs), garantir o fornecimento de baterias e semicondutores e navegar pela fragmentação geopolítica em toda a fabricação e arquitetura tecnológica.

A adoção de veículos elétricos (EVs) continua crescendo, mas as margens permanecem defasadas devido a custos de bateria, subsídios em mudança, imaturidade das redes de carregamento e forte competição global, particularmente de fabricantes chineses (OEMs).

Os veículos estão se tornando plataformas digitais permanentemente conectadas, criando novas expectativas de cibersegurança, soberania de dados e qualidade de software. Novos comportamentos de mobilidade, como assinaturas, uso compartilhado e padrões de carregamento residencial, transformam ainda mais os modelos de receita.

A próxima onda de diferenciação virá da autonomia, das fábricas inteligentes, dos ecossistemas de energia informados, dos materiais sustentáveis e das plataformas circulares de EVs, exigindo roteiros sincronizados entre hardware, software, energia e parcerias de ecossistema.



Principais desafios do setor



Lucratividade dos EVs, economia de baterias e circularidade

Os OEMs precisam melhorar a economia unitária por meio de reuso de plataformas, diversificação de químicas, reciclagem, fluxos de segunda vida e modelos transparentes de custo total de propriedade (TCO).



Confiabilidade de SDVs e qualidade de atualizações over-the-air (OTA)

Veículos ricos em software exigem pipelines robustos de DevOps/MLOps, casos de segurança, atestação de silício e qualidade de atualizações para preservar confiança e receita.



Semicondutores, cadeia de suprimentos e resiliência geopolítica

Fornecedores diversificados, chips coprojetados, manufatura localizada e redes de suprimentos com mitigação de risco reduzem a exposição a pontos de estrangulamento críticos.



Infraestrutura de carregamento, integração energética e CX

Carregamento confiável, inteligência tarifária e serviços de energia vehicle-to-everything (V2X) são essenciais para a satisfação do cliente e a adoção de EVs.



Cibersegurança, segurança e governança de dados

Regulamentações UNECE, normas ISO/SAE, regras de consentimento de dados e arquiteturas seguras por design impulsionam o monitoramento e a conformidade contínuos.

Relevância das tendências na cadeia de valor automotiva

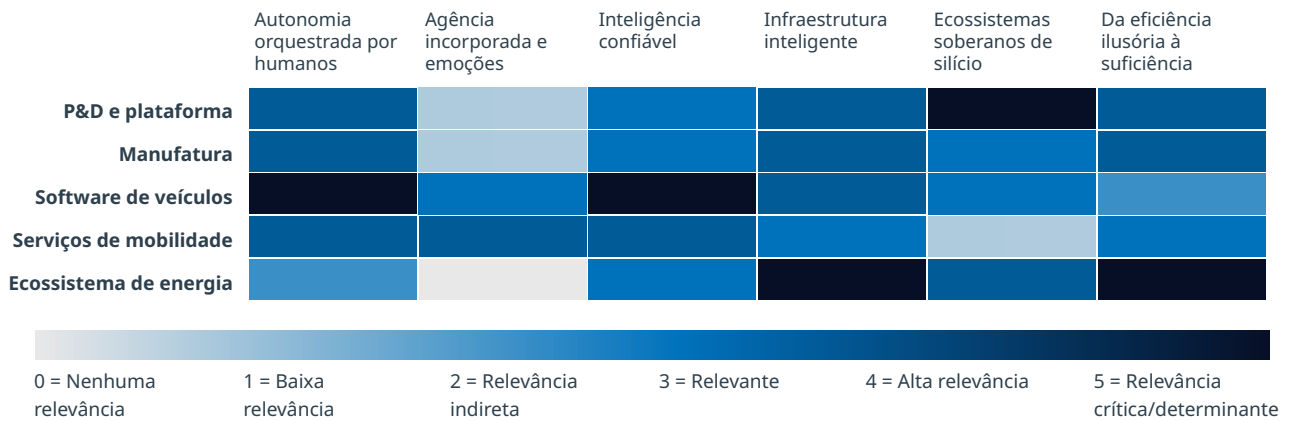


Figura 16: Cadeia de valor do setor automotivo: mapa de calor de relevância das tendências

Fatores de transformação

Operações agênticas de veículos, fábricas e frotas

Agentes de IA coordenam planejamento de produção, controle de qualidade, implantações OTA e ajuste comportamental de frotas, viabilizando respostas mais rápidas e otimização contínua enquanto mantêm a supervisão humana para segurança e conformidade.

Digital twins de alta fidelidade em todos os produtos e ciclos de vida

Digital twins de veículos, plantas, baterias e frotas simulam desempenho, defeitos e consumo de energia, reduzindo o risco de lançamento, acelerando o desenvolvimento e melhorando o custo e a confiabilidade ao longo do ciclo de vida.

Plataformas de veículos definidos por software e evolução contínua

DevOps/MLOps industrializados, arquiteturas modulares de SDV e pipelines seguros de OTA viabilizam atualizações de funcionalidades e monetização sem comprometer segurança, qualidade ou confiança do cliente.

Experiências no veículo com reconhecimento da emoção e do contexto

A detecção do estado do motorista, IA afetiva e assistentes contextuais personalizam as interações, reduzem distrações e aumentam a adoção de serviços digitais e assinaturas.

Software confiável, cibersegurança e segurança funcional

Stacks de veículos seguros desde a fase de concepção, ciclos de vida de software rastreáveis e validação crítica de segurança protegem veículos, clientes e marcas à medida que aumentam a conectividade e a autonomia.

Ecossistemas informados de energia e carregamento

Análises em tempo real coordenam veículos, infraestrutura de carregamento, sinais da rede e sistemas de energia residencial para melhorar a disponibilidade, reduzir custos e aprimorar a experiência de propriedade.

Semicondutores soberanos e resilientes e stack de computação

Silício automotivo coprojetado, dual sourcing e computação localizada reduzem a exposição a oscilações no fornecimento e restrições geopolíticas, ao mesmo tempo que melhoram o desempenho por watt para SDVs.

Circularidade e sistemas sustentáveis de materiais

Passaportes de produto, inteligência de reciclagem e pipelines de reuso orientados por IA apoiam a descarbonização, a estabilidade de materiais e a credibilidade ESG.

Caso de uso do setor

Software twin e OTA confiável

Um OEM global desenvolve um software twin que integra arquiteturas de SDV, dados de campo, logs de sensores, saídas de simulação e casos de segurança. Antes de lançamentos OTA, as equipes simulam desempenho, interações de segurança, drift e impacto no cliente. Modelos de IA confiável, validados com linhagem, comprovação de cibersegurança e artefatos de testes, atualizam o twin à medida que dados da frota são transmitidos, recomendando limiares, localização ou ajustes de implantação.

Resultados

- Ciclos de lançamento mais rápidos
- Menos defeitos
- Menor risco de recall
- Maior adesão a assinaturas
- Maior confiança regulatória

Prioridades estratégicas

01

Industrialize SDV e operações agênticas em produto e produção

Unifique fluxos de trabalho de engenharia, manufatura, qualidade e OTA com digital twins e autonomia governada.

02

Construa um conjunto resiliente e soberano de materiais de computação de energia

Garanta baterias, resiliência de semicondutores, fluxos de dados em cloud soberana e ecossistemas integrados de energia para estabilidade e desempenho.

03

Migre para modelos de receita centrados no ciclo de vida e orientados pela experiência

Aproveite telemetria, inteligência emocional, carregamento inteligente e assinaturas transparentes para maximizar o valor ao longo da vida do cliente.

Telecomunicações

O setor de telecomunicações entrou em 2026 sob pressões simultâneas de crescimento, custo e soberania.

Enquanto o tráfego continua crescendo, as receitas permanecem estáveis, criando uma corrida estrutural para reduzir o custo por bit. As operadoras precisam equilibrar a implantação de 5G standalone, a expansão de fibra, a maturidade do Open RAN e as migrações para cloud de telecomunicações em meio a um capex sustentado.

Ao mesmo tempo, as empresas demandam 5G privado, edge computing multiacesso (MEC), slicing de rede, integração de IoT e garantia baseada em APIs, exigindo que as operadoras evoluam de provedoras de conectividade para plataformas de serviço baseadas em resultados.

A instabilidade nos preços da energia, as expectativas de sustentabilidade, as pressões geopolíticas, juntamente com as colaborações em cloud e o fornecimento de silício, levam as empresas de telecomunicações a atuar como fornecedores de infraestrutura vital. Os clientes esperam interações sem atrito e app-first, enquanto os desenvolvedores antecipam redes programáveis e abertas.

Essas forças aceleram a transição de telco para techco, com software, IA, automação e ecossistemas de plataforma se tornando a essência da competitividade.



Principais desafios do setor



Monetização de 5G, MEC e APIs

As operadoras precisam transformar slicing de rede, redes sem fio privadas e APIs programáveis em ofertas escaláveis para empresas e desenvolvedores.



Economia de rede, automação e redução de custo unitário

AIOps, redes autônomas e cores nativos em cloud são essenciais para reverter a erosão do custo por bit enquanto melhoram a confiabilidade.



Experiência do cliente, jornadas integradas e pacotes justos

A diferenciação depende cada vez mais de planos transparentes, interações sensíveis ao sentimento e pacotes de ecossistema, incluindo conteúdo OTT (over-the-top) e subsídios seletivos de tráfego, que fortalecem a fidelidade e reduzem o churn.



Segurança, resiliência e soberania de dados

Superfícies de ataque em expansão e novas regulamentações exigem zero trust, processamento na região, garantia de cadeia de suprimentos e continuidade operacional.



Dependência de semicondutores, cloud e fornecedores

A influência crescente de hyperscalers e fabricantes de chips exige diversidade de silício, opções de cloud soberana e maturidade do Open RAN.

Relevância das tendências na cadeia de valor do setor de telecomunicações

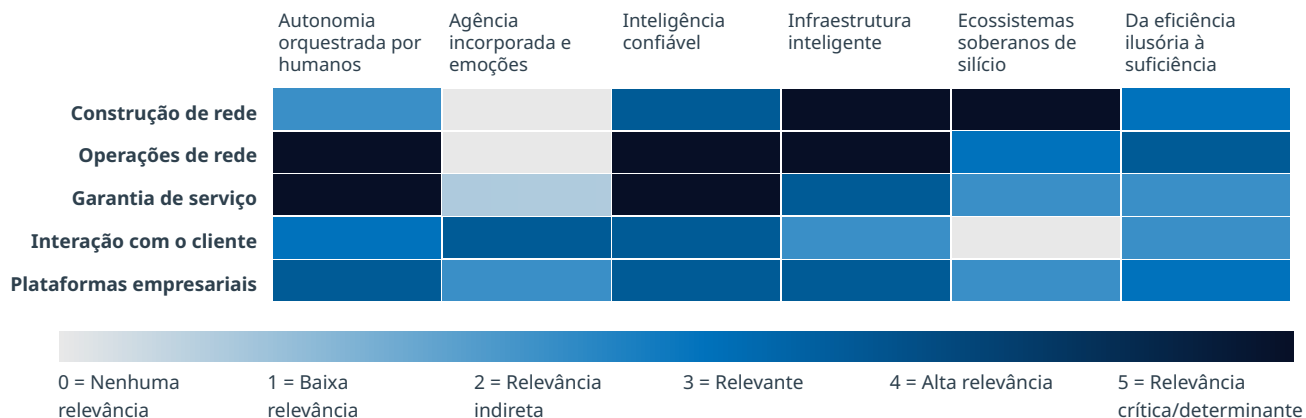


Figura 17: Cadeia de valor do setor de telecomunicações: mapa de calor de relevância das tendências

Fatores de transformação

Operações de rede agênticas e automação guiada por humanos

O controle de circuito fechado orientado por IA automatiza a garantia, a otimização e a recuperação em redes RAN, principais e de transporte, melhorando a confiabilidade e a velocidade e mantendo os humanos responsáveis pela segurança, políticas e escala.

Redes programáveis, APIs e serviços baseados em resultados

Slicing de rede, redes sem fio privadas, MEC e APIs padronizadas expõem capacidades de rede como serviços programáveis, permitindo que empresas e desenvolvedores consumam latência, confiabilidade e segurança garantidas sob demanda.

Infraestrutura de rede inteligente e em tempo real

Telemetria contínua, digital twins, AIOps e inteligência edge-cloud transformam redes em sistemas automonitorados que otimizam desempenho, uso de energia e eficiência de implantação em tempo real.

Experiência do cliente, jornadas integradas e pacotes de ecossistema

Atendimento app-first, interações sensíveis ao sentimento e pacotes de ecossistema, incluindo conteúdo OTT e integração de serviços, fortalecem a fidelidade do cliente e reduzem o churn nos segmentos de consumidores e empresas.

Segurança, resiliência e operações de rede soberanas

Arquiteturas zero trust, processamento na região, garantia de cadeia de suprimentos e planos de continuidade testados protegem superfícies de ataque TI/TO em expansão e posicionam as operadoras como operadoras de infraestrutura nacional crítica.

Diversificação de cloud, silício e fornecedores

Open RAN, estratégias multicloud e fornecimento diversificado de silício reduzem a dependência de hyperscalers e fabricantes de chips enquanto preservam controle de custos, desempenho e autonomia estratégica de longo prazo.

Caso de uso do setor

Garantia de IA em circuito fechado para SLAs empresariais

Uma operadora europeia implanta garantia em circuito fechado orientada por IA para clientes de 5G privado e MEC. Telemetria em tempo real de RAN, transporte e edge é combinada com parâmetros de SLA para detectar anomalias, prever congestionamento, ajustar configurações de slicing de rede e redirecionar tráfego de forma autônoma. Quando limiares estão em risco, o sistema notifica os clientes, aciona ações corretivas e registra as etapas para auditoria.

Resultados

- Maior cumprimento de SLA
- Menor tempo médio de reparo (MTTR)
- Redução de churn
- Melhoria na eficiência energética
- Total transparência para órgãos reguladores e clientes empresariais

Prioridades estratégicas

01

Industrialize redes autônomas com IA confiável

Implante AIOps, digital twins e garantia em circuito fechado nos domínios de rede com explicabilidade, linhagem e frameworks de segurança.

02

Migre de conectividade para serviços baseados em resultados e APIs

Desenvolva plataformas automatizadas de produção e entrega para slicing de rede, MEC, 5G privado e APIs de gateway aberto, apresentando recursos de rede programáveis com garantias de qualidade de serviço.

03

Opere redes como infraestrutura sustentável e soberana

Reduza a energia por bit, regionalize cargas de trabalho críticas, diversifique o sílcio e garanta o alinhamento soberano cloud-edge para conformidade regulatória.

Manufatura

A indústria de manufatura entrou em 2026 em uma fase de volatilidade estrutural marcada por choques nas cadeias de suprimentos, fragmentação geopolítica, pressão inflacionária, escassez de mão de obra e custos crescentes de energia.

A transformação digital é essencial, mas frequentemente é desacelerada por sistemas heterogêneos, dados legados e escalonamento desigual em redes de múltiplas plantas. Ao mesmo tempo, avanços rápidos em IA física, inteligência agêntica, tomada de decisão em tempo real e automação inteligente estão remodelando as operações fabris, fazendo com que elas se tornem modelos de produção adaptáveis, resilientes e mais centrados no ser humano.

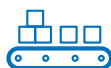


Principais desafios do setor



Escalar o ROI de fábricas inteligentes em plantas heterogêneas

Alcançar produtividade, qualidade, redução de energia e autonomia em plantas diversas exige dados padronizados, conjuntos de ferramentas e modelos operacionais.



Resiliência da cadeia de suprimentos sob volatilidade

Disrupções persistentes e concentração de fornecedores exigem multi-sourcing, visibilidade em tempo real e respostas ágeis que equilibrem custo e capital de giro.



Transformação da força de trabalho e colaboração humano-máquina

Lacunas de habilidades em automação e dados exigem requalificação e novos modelos de colaboração humano-máquina à medida que a autonomia se expande.



Base de dados e confiança ciberfísica

Escalar a IA depende de dados unificados e governados e de segurança robusta de TI/TO (tecnologia da informação/tecnologia operacional) para rastreabilidade, disponibilidade e implantação de modelos em conformidade.



Sustentabilidade, energia e eficiência de capital

Metas de suficiência, circularidade e descarbonização influenciam decisões de produtos, recursos e investimentos à medida que desempenho de custo e de carbono convergem.

Relevância das tendências na cadeia de valor de manufatura

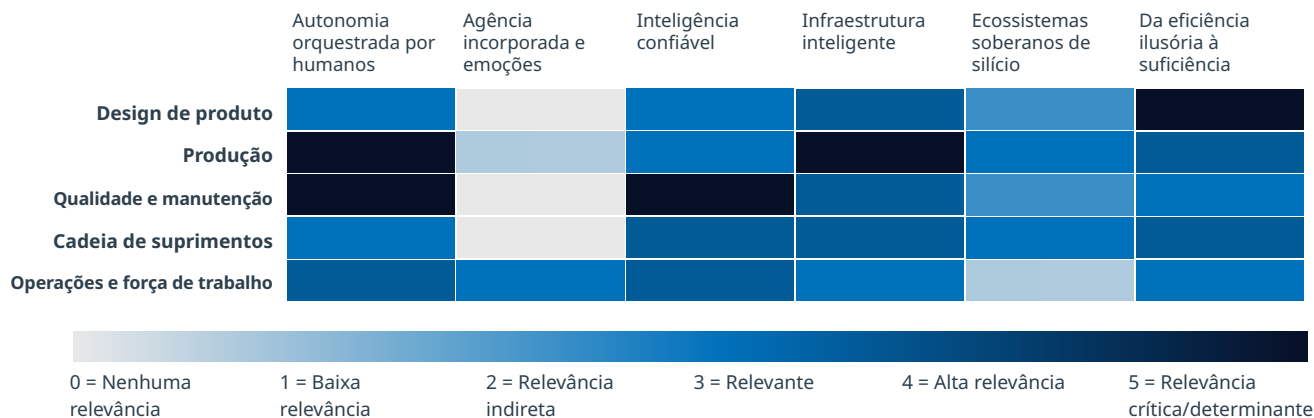


Figura 18: Cadeia de valor da indústria de manufatura: mapa de calor de relevância das tendências

Fatores de transformação

Operações fabris agênticas e automação guiada por humanos

Agentes de IA orquestram planejamento, produção, qualidade e resposta entre máquinas, linhas e plantas, viabilizando adaptação mais rápida a disrupções enquanto mantêm os humanos responsáveis pela segurança, ética e trade-offs de desempenho.

Base de dados industrial unificada e interoperabilidade

Camadas de dados em tempo real e independentes de fornecedor conectam máquinas, sistemas de TO, sistemas de execução de manufatura e plataformas e aplicativos de gerenciamento de operações de manufatura (MES/MOM), criando uma base escalável para análises, digital twins e replicação de valor entre plantas.

IA física, robótica e automação flexível

IA integrada em máquinas, robôs e células autônomas viabiliza layouts de produção adaptativos, capacidade de resposta para pequenos lotes e colaboração humano-máquina mais segura sem reconfiguração constante de linhas.

Infraestrutura de manufatura inteligente e em tempo real

Arquiteturas edge-cloud, telemetria contínua e digital twins operacionais otimizam desempenho, consumo de energia, manutenção e estabilidade de lançamento em plantas e redes de suprimentos.

IA confiável, segurança ciberfísica e governança

Modelos explicáveis, segurança de TI/TO por projeto, rastreabilidade e controles de acesso orientados por políticas protegem a integridade, a qualidade e o tempo de atividade da produção conforme a escala da autonomia e da conectividade.

Produção orientada pela suficiência e operações circulares

Capacidade adequada ao propósito, plataformas modulares, reuso de materiais e otimização consciente de energia deslocam a manufatura da eficiência pura para operações resilientes, sustentáveis e eficientes em capital.

Caso de uso do setor

Resposta a interrupções em tempo real com IA e espaço de dados unificado

Um fabricante global de bens de consumo implanta um Espaço de Dados Unificado (UDS) em suas plantas, criando uma camada operacional em tempo real que harmoniza dados de máquinas, sinais de qualidade, parâmetros de processo e insumos de suprimento. Quando interrupções ocorrem (drift de equipamentos, componentes faltantes, atrasos de fornecedores) agentes de IA recomendam imediatamente as melhores próximas ações, desde reprogramação até sourcing alternativo.

Resultados

- A gestão de interrupções passa de combate a incêndios manual para resiliência contínua e automatizada
- Redução do tempo de inatividade, dos resíduos e do capital de giro

Prioridades estratégicas

01

Construa uma base de dados escalável (Espaço de Dados Unificado com governança)

Implemente uma camada de dados unificada e neutra em relação a fornecedores para viabilizar a replicabilidade entre plantas e permitir manutenção preditiva, digital twins e controle agêntico.

02

Operacionalize a tomada de decisão agêntica e autônoma

Implante agentes de IA para planejamento, programação, manutenção e resposta na cadeia de suprimentos, garantindo governança humana e controles de segurança.

03

Projete para produção flexível com robótica híbrida

Combine operadores humanos, cobots e humanoides para aumentar a agilidade, dar suporte a carências de mão de obra e reduzir o tempo de inatividade.

Setor bancário

O setor bancário entrou em 2026 sob pressão estrutural em termos de custos, confiança, conformidade e crescimento.

A dinâmica competitiva se intensifica à medida que as fintechs crescem, o financiamento incorporado se expande, as carteiras digitais proliferam e os pagamentos passam a ser instantâneos e de conta para conta.

Órgãos reguladores estabelecem frameworks rigorosos, como o Digital Operations Resilience Act (DORA), a Diretiva NIS2, o GDPR, o FIDA (Framework for Financial Data Access) na UE e pacotes de combate à lavagem de dinheiro (AML), entre outros, exigindo que bancos operem cloud, dados, IA e ecossistemas de terceiros como infraestrutura crítica regulamentada.

As expectativas dos clientes por transações instantâneas, taxas transparentes, consultoria personalizada e atendimento emocionalmente inteligente continuam crescendo. Enquanto isso, divulgações climáticas, alinhamento taxonômico, otimização de liquidez e estabilidade de depósitos criam incerteza macro adicional.

À medida que moedas digitais de bancos centrais (CBDCs) e infraestruturas quânticas e fotônicas em estágio inicial surgem, os bancos devem modernizar plataformas de core, IA confiável, pagamentos, risco e ecossistemas enquanto demonstram resiliência operacional e soberania.



Principais desafios do setor



Modernização de core, pagamentos e infraestrutura digital

Os bancos devem modernizar os sistemas principais, os sistemas de pagamento, as arquiteturas em cloud e as bases de dados para oferecer suporte a serviços em tempo real e à digitalização do dinheiro, incluindo moedas digitais, carteiras, identidades e liquidação baseada em registros.



Complexidade de cibersegurança, fraude e crimes financeiros

Ameaças crescentes em identidade, pagamentos e APIs exigem autenticação contínua, análise de rede e modelos explicáveis e auditáveis.



Controle regulatório, soberania e resiliência operacional

Órgãos reguladores exigem controles auditados, processamento na região, linhagem transparente e governança rigorosa de terceiros.



IA confiável, personalização e tomada de decisão ética

Consultoria personalizada, subscrição e atendimento dependem de IA governada com controles rigorosos de consentimento, equidade, adequação e mitigação de viés.



Transformação de go-to-market e gestão de margens

Open finance, canais integrados e mudanças no comportamento do cliente exigem novos mecanismos de precificação, arquiteturas de produtos e estratégias centradas em valor ao longo da vida do cliente (CLV).

Relevância das tendências na cadeia de valor bancária

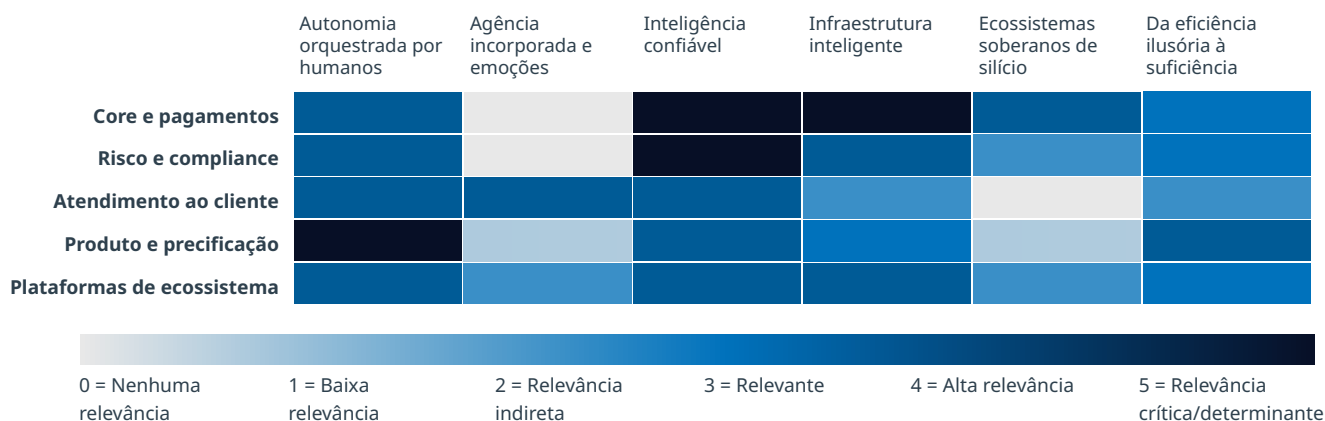


Figura 19: Cadeia de valor do setor bancário: mapa de calor de relevância das tendências

Fatores de transformação

Operações bancárias agênticas e automação orientada por humanos

Agentes de IA orquestram processos multietapas em pagamentos, onboarding, atendimento, finanças e operações, aumentando velocidade e eficiência enquanto preservam aprovação humana, segregação de funções e auditabilidade.

Modernização operacional, de pagamentos e de registros em tempo real

Os núcleos orientados a eventos, os sistemas de pagamento instantâneo e os recursos modernos de registro permitem o processamento em tempo real, casos de uso de dinheiro programável e suporte escalável para moedas digitais, carteiras e liquidação.

IA confiável para tomada de decisão, risco e personalização

Modelos governados de IA alimentam subscrição, prevenção de fraude, cobranças e melhores próximas ações com explicabilidade, controles de equidade, linhagem e monitoramento contínuo para atender às expectativas regulatórias e de confiança dos clientes.

Identidade digital, autenticação e rede de consentimento

Autenticação contínua, identidade digital forte e gestão de consentimento sustentam o acesso seguro a contas, APIs, carteiras e jornadas integradas em canais e ecossistemas de parceiros.

Infraestrutura bancária inteligente, resiliente e soberana

Arquiteturas de streaming, operações com observabilidade como prioridade, failover multicloud e processamento na região garantem serviços sempre disponíveis, conformidade regulatória e recuperação rápida para cargas de trabalho bancárias críticas.

Modelos de distribuição integrados e baseados em plataformas

Arquiteturas API-first permitem que bancos distribuam pagamentos, crédito e serviços por meio de plataformas de terceiros e ecossistemas, deslocando o crescimento para jornadas contextuais, integradas e orientadas por uso.

Cibersegurança e defesa contra crimes financeiros em escala

Análise avançada de fraude, AML baseada em grafos, sinais comportamentais e ciberdefesas coordenadas protegem fluxos de pagamento de alta velocidade e interfaces abertas, mantendo investigações auditáveis e prontas para órgãos reguladores.

Caso de uso do setor

Controle agêntico de fraude e crimes financeiros para pagamentos instantâneos

Um banco Tier 1 implanta uma rede de controle de fraude e AML em tempo real que consome fluxos de pagamentos, impressões digitais de dispositivos, padrões comportamentais e contexto do cliente. Agentes de IA classificam o risco, orquestram as melhores próximas ações, desde autenticação reforçada até verificações de sanções, e geram casos automaticamente com vínculos entre entidades e ações recomendadas.

Resultados

- Menores perdas por fraude e falsos positivos
- Melhoria na experiência do cliente
- Redução nos custos de investigação
- Capacidade de atender expectativas regulatórias rigorosas

Prioridades estratégicas

01

Industrialize Agentic AI e IA confiável nos processos centrais, operacionais e de risco

Implante agentes de IA governados com escopos, linhagem, aprovações e controles de privacidade e justiça rigorosos em serviços, pagamentos, AML, conheça seu cliente (KYC) e subscrição.

02

Execute serviços bancários em uma infraestrutura inteligente, soberana e sempre disponível

Adote arquiteturas streaming-first, resiliência multicloud e zonas de computação soberana para atender mandatos de resiliência operacional e conformidade regulatória.

03

Construa os novos sistemas financeiros (instantâneos, abertos, CBDC, ativos tokenizados)

Modernize pagamentos com inteligência ISO 20022, controles de fraude em tempo real, orquestração de open finance e prontidão para CBDCs e ativos tokenizados.

Setor farmacêutico

O setor farmacêutico entrou em 2026 sob pressões convergentes, uma avalanche de patentes, regimes de precificação e acesso mais rigorosos (Inflation Reduction Act (IRA) nos EUA e Health Technology Assessment (HTA)), e uma complexidade cada vez maior nas categorias de produtos biológicos, terapia celular e gênica (CGT) e conjugados de anticorpos e medicamentos (ADC).

As expectativas de desempenho digital, de dados e ESG continuam crescendo. Ao mesmo tempo, os pipelines migram para terapias de alta ciência e alto custo, enquanto os consumidores exigem valor no mundo real e os órgãos reguladores intensificam o controle sobre o uso de IA, integridade de dados e conformidade com GxP (Good [x] Practices).

As operações devem se tornar mais ágeis e resilientes à medida que manufatura multimodal, cadeias de suprimentos frágeis e requisitos rigorosos de qualidade coincidem com pressões crescentes de custo e acesso.



Principais desafios do setor



Produtividade do pipeline e tomada de decisão baseada em evidências

Modalidades de alta ciência e custos crescentes de desenvolvimento aumentam a necessidade de insights preditivos mais precoces, decisões go/no-go mais rápidas e investimentos direcionados.



Modernização dos ensaios clínicos e do acesso dos pacientes

Modelos de estudos descentralizados e digitais, requisitos de diversidade e novas expectativas regulatórias afetam o recrutamento, o design e a geração de evidências no mundo real.



Agilidade de fabricação e aumento de escala da modalidade

Produtos biológicos, CGT, ADCs e redes multimodais exigem produção flexível e certificada, desenvolvida com o suporte de digital twins, inteligência de qualidade e excelência em transferência de tecnologia.



IA confiável, governança de dados e conformidade regulatória

Escalar a IA em P&D, operações clínicas e manufatura exige um modelo rigoroso de linhagem, consentimento, privacidade, explicabilidade e fluxos de dados multirregionais seguros.



Cadeia de suprimentos, sustentabilidade e fragmentação global

A escassez de ingredientes ativos, as pressões geopolíticas, as metas de descarbonização e as obrigações de divulgação de informações ESG exigem operações globais transparentes e resilientes.

Relevância das tendências na cadeia de valor do setor farmacêutico

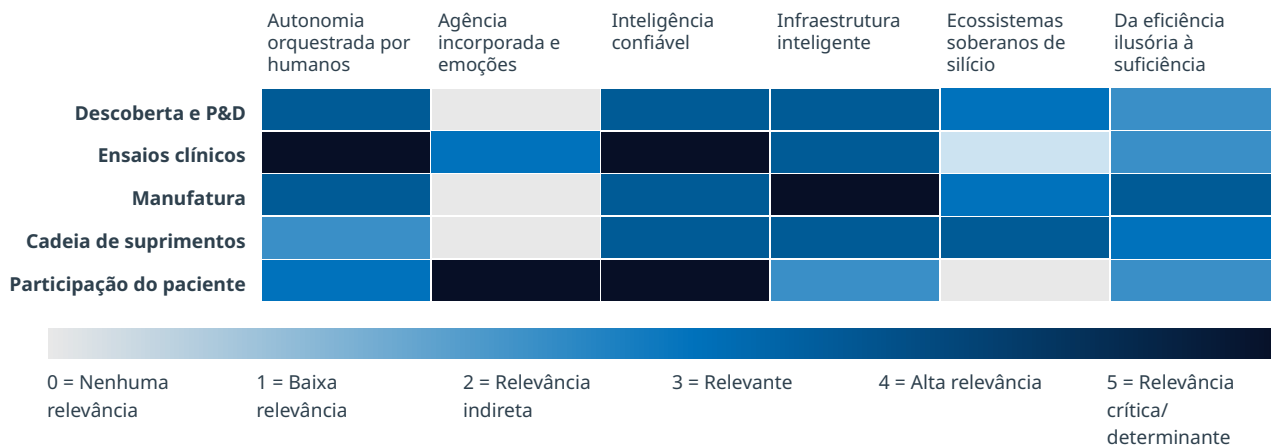


Figura 20: Cadeia de valor do setor farmacêutico: mapa de calor de relevância das tendências

Fatores de transformação

Orquestração agêntica de P&D, operações clínicas e operações

Agentes de IA coordenam fluxos de trabalho de descoberta, operações de ensaios, segurança e manufatura em múltiplas etapas, acelerando decisões enquanto preservam supervisão humana, responsabilidade de qualidade e controle regulatório.

Digital twins de ensaios clínicos e integração de evidências do mundo real

Ambientes virtuais de ensaios unificam designs de protocolo, dados históricos de ensaios, evidências do mundo real (RWE) e desempenho dos centros para simular resultados, antecipar riscos e otimizar recrutamento, diversidade e execução em tempo real.

Sistemas de manufatura adaptativos e conscientes de modalidade

Digital twins, análises avançadas e automação flexível permitem o rápido aumento de escala e transferência entre produtos biológicos, CGT, ADCs e redes multimodais, protegendo a conformidade com GMP e a produtividade.

IA confiável, governança de dados e modelos regulatórios

Modelos explicáveis, monitoramento de linhagem, artefatos de validação e governança do ciclo de vida garantem que a IA possa ser escalada com segurança em P&D, operações clínicas, farmacovigilância e manufatura sob requisitos GxP.

Infraestrutura farmacêutica inteligente, resiliente e soberana

Arquiteturas híbridas cloud-edge, observabilidade em tempo real e processamento na região oferecem suporte ao compartilhamento seguro de dados, operações resilientes e colaboração em conformidade com ecossistemas globais de P&D e suprimentos.

Engajamento digital centrado no paciente e geração de evidências

Abordagens digitais como eConsent, eSource, dispositivos vestíveis e biomarcadores digitais viabilizam interação contínua com o paciente e captura de evidências, melhorando acesso, adesão e insights tanto na fase de desenvolvimento quanto na pós-comercialização.

Caso de uso do setor

Digital twin de ensaio clínico e IA confiável

Uma empresa farmacêutica global desenvolve um digital twin de ensaio clínico que integra design de protocolo, dados históricos de ensaios, evidências do mundo real e desempenho das instalações. Antes da chegada do primeiro paciente, as equipes simulam curvas de recrutamento, metas de diversidade, risco do local e desvios de protocolo. Modelos de IA confiável, validados com linhagem completa, atualizam continuamente o digital twin à medida que dados do mundo real são transmitidos, recomendando ações como ativação de centros de backup ou ajustes nos cronogramas de visitas.

Resultados

- Fechamento de banco de dados mais rápido
- Melhoria na diversidade
- Menos emendas
- Melhor prontidão para inspeções
- Total transparência para órgãos reguladores e parceiros

Prioridades estratégicas

01

Industrialize IA confiável em toda a cadeia de valor

Estabeleça um framework unificado de governança de modelos e gestão de risco de modelos (MRM) que cubra descoberta, ensaios, segurança, manufatura e previsão.

02

Construa infraestrutura inteligente validada e produtos de dados

Invista em digital twins, observabilidade cruzada de TI/TO e produtos de dados certificados para acelerar a geração de evidências e a qualidade das decisões.

03

Redesenhe modelos operacionais com foco em acesso, sustentabilidade e talentos

Alinhe funções de acesso a mercado, métricas e de evidências do mundo real a acordos baseados em valor; integre ESG na governança de fornecedores; e construa capacidades digitais e de IA para CMC (química, manufatura e controles), farmacovigilância (PV) e operações clínicas.

Do insight à ação

O mapa de convergência

O mapa de convergência ilustra como as seis macro-tendências se cruzam para formar um ecossistema unificado de transformação, o blueprint para a empresa do futuro. Revela conexões dinâmicas em que inovação tecnológica, soberania digital e sustentabilidade se sobrepõem e se reforçam mutuamente, tornando-se fatores inseparáveis de progresso.

Ao enxergar essas seis macro-tendências como componentes interdependentes da inteligência em massa, as organizações podem migrar de iniciativas isoladas para estratégias coerentes, alinhando tecnologia, propósito e resiliência de longo prazo.

Mapa de convergência das seis macro-tendências

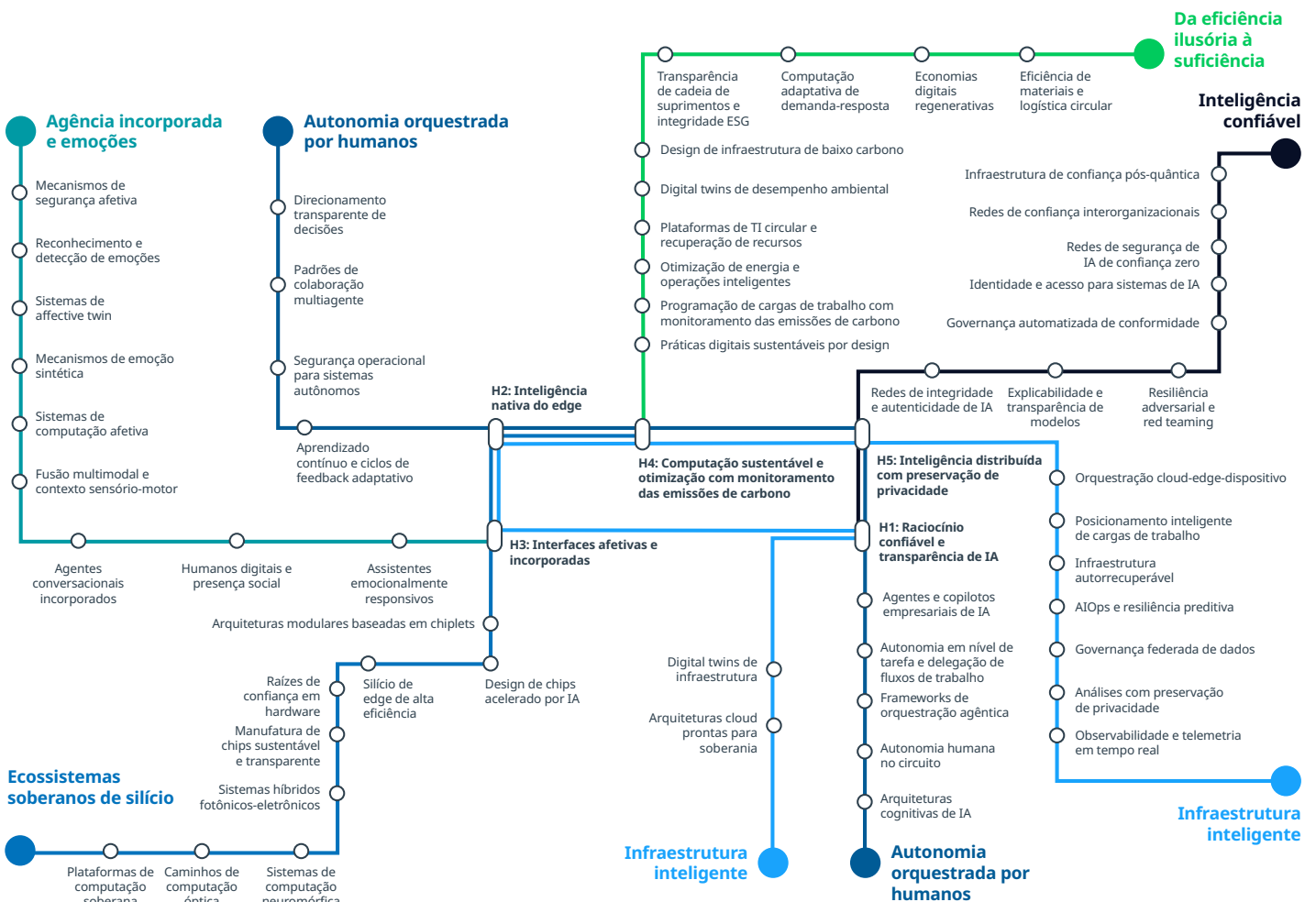


Figura 21: Mapa de convergência das seis macro-tendências

Capacidades estratégicas

Para permanecer competitivas neste cenário cada vez mais complexo, as organizações devem desenvolver capacidades estratégicas que tanto elevem o potencial humano quanto fortaleçam as bases tecnológicas.

Isso começa com o aumento da inteligência humana, passando da automação para a simbiose entre humanos e IA. Ao mesmo tempo, é necessário projetar para o crescimento ético, tornando padrão a transparência, a confiança e os princípios regenerativos. Construir bases conectadas é igualmente essencial, garantindo infraestruturas interoperáveis, fluidas e soberanas. As organizações também precisam desenvolver culturas preparadas para a previsão, incorporando a antecipação, a experimentação, o desenvolvimento de capacidades e a agilidade em todas as atividades. Por fim, devem acelerar ecossistemas de colaboração, construindo parcerias além dos limites tradicionais para criar redes de valor adaptativas.

Uma abordagem informada para navegar o potencial

Embora as possibilidades e o potencial das macrotendências tecnológicas exploradas neste relatório sejam empolgantes, devemos permanecer atentos aos seus riscos potenciais.

Incertezas sempre persistirão, mas buscar compreender cenários futuros pode diminuir a probabilidade de enfrentar desafios inesperados e pontos cegos.

À medida que essas seis macrotendências convergirem, redefinirão a maneira como trabalhamos, transferindo a tecnologia da automação de tarefas para a ampliação da capacidade humana e permitindo que as pessoas e os sistemas inteligentes cocriem valor de maneira mais adaptável, ética e orientada por objetivos.

A NTT DATA está pronta para ajudar

Nossos serviços incluem consultoria de negócios e tecnologia, dados e inteligência artificial, soluções para diferentes setores, assim como o desenvolvimento, a implementação e a gestão de aplicações, infraestrutura e conectividade.

Somos também um fornecedor líder de infraestrutura digital e IA em todo o mundo.

A NTT DATA faz parte do NTT Group, que investe mais de US\$ 3 bilhões por ano em P&D para ajudar organizações e a sociedade a avançar com confiança e de forma sustentável rumo ao futuro digital.



Sobre a pesquisa

A metodologia utilizada no relatório NTT DATA Technology Foresight 2026 combina práticas rigorosas de pesquisa com recursos internos exclusivos para explorar e refinar macrotendências tecnológicas emergentes.

Com base nos amplos investimentos do Grupo NTT em pesquisa básica e aplicada, nossa equipe tem acesso direto a desenvolvimentos avançados em uma ampla gama de domínios, permitindo uma compreensão profunda dos avanços tecnológicos e de suas potenciais aplicações.

Um componente fundamental do processo é o uso de uma plataforma interna de inteligência de mercado que agrega e analisa dados de fontes diversas, incluindo previsões de mercado, insights de analistas e informações públicas sobre investimentos e parcerias. Essa abordagem automatizada e orientada por dados garante que a seleção de tendências seja fundamentada em evidências objetivas.

A metodologia é aprimorada por meio de consultas a uma rede global de especialistas em tecnologia e negócios do Grupo NTT. Esses especialistas contribuem com insights localizados e específicos por domínio, refinando as macrotendências com uma visão colaborativa e multidisciplinar.

Por fim, técnicas de visão estratégica são aplicadas para mapear desde macrotendências e casos de uso a cenários futuros, examinando suas implicações para indivíduos, empresas e sociedade. Esse processo estruturado e iterativo garante que as macrotendências identificadas sejam tanto tecnologicamente robustas quanto contextualmente relevantes.

Colaboradores

Editorial:

Hisashi Yoshida

Cynthia Yumiko Staub

Rena Oi

Valentina Contini

Oliver Köth

Alberto Acuto

Colaboradores:

Raoul Heese

Iris Pfeifer

Amulya Bhatia

Diana Hauser

Bettina Wegner

Doris Bruder

Volker Ganz

Markus Lunz

Johannes Wetterich

Dennis Tischer

Afkar Alam Khan

Tobias Brecht

Christian Koch

Filippo Capocasale

César Zayas

Gadhu Sundaram

Mireia Vilaplana

Victor León Marambio

Pablo Sáez Nunez

Enno Kätelhön

Cornelius Walter

Bernd Pape

Andreas Schlüter

Tobias Schmidt

Martin Pözl

Andreas Möbs

Rouven Steibli

Ruzica Lovric

Aylin Lindmayer

Carlos Ordonez Sánchez

Richard Calvo Lopez

Rahul Maheshwari

Amit Unde

Maria Cione

Carlos Galve Pellicero

Natasha Horwitz

Kate Owendale

Retha Duvenage

Jessica Brink

Anneli Brooks-Smith

Stefania Vita

Sara Alvarellos Navarro

Jose Carlos Chavez Peinado

Raquel Serradell Muñoz

Aranxa Luisa Pino Baez

Lucia Ciordia Navarro

Paula van Huyssteen

Jessica Acar

Georg Kerpert

Daniela Florio

Para mais informações, acesse br.nttdata.com.

A NTT DATA é uma empresa líder global em serviços de tecnologia e negócios, com receita superior a US\$ 30 bilhões, especializada em IA e infraestrutura digital. Aceleramos o sucesso dos clientes e geramos impacto positivo na sociedade por meio da inovação responsável. Como Global Top Employer, contamos com especialistas em mais de 70 países. A NTT DATA faz parte do Grupo NTT.



