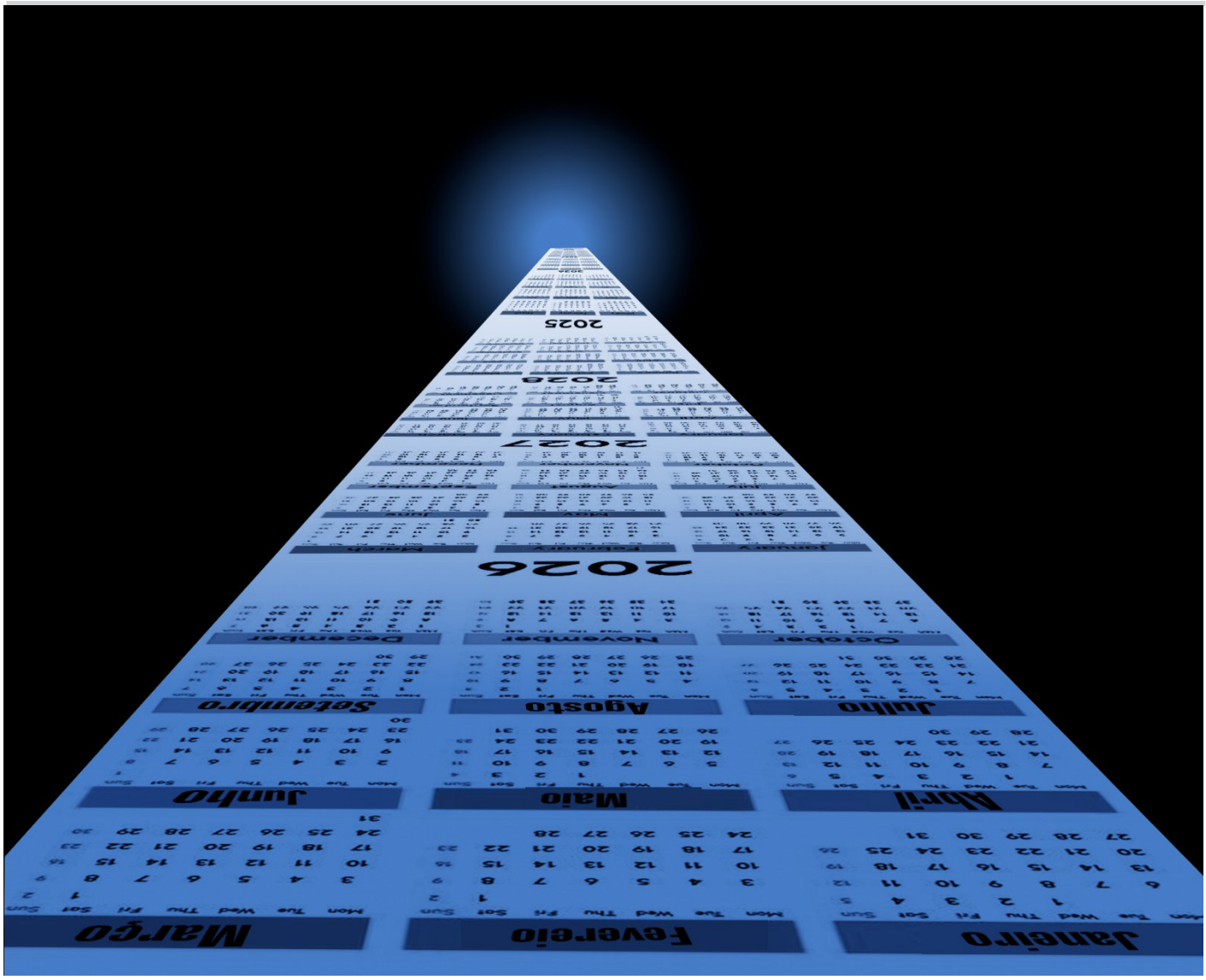
# UM MAPA PARA NAVEGAR NAS OPORTUNIDADES TECNOLÓGICAS DO FUTURO

## *A MAP FOR NAVIGATING FUTURE TECHNOLOGICAL OPPORTUNITIES*




Como identificar, avaliar e capitalizar sobre as principais tendências de tecnologias que moldarão o cenário empresarial nas próximas décadas

*How to identify, evaluate, and capitalize on the key technological trends that will shape the business landscape in the coming decades*

**Paulo Vicente dos Santos Alves -** Professor da Fundação Dom Cabral
**E-mail:** paulo.alves@fdc.org.br

## Resumo

**Objetivo:** fornecer um *framework* estratégico para auxiliar gestores e empreendedores a avaliar oportunidades e ameaças decorrentes das principais tendências tecnológicas entre 2025 e 2050.

**Estado da arte:** a gestão estratégica exige a antecipação de tendências tecnológicas futuras. No entanto, a complexidade e a velocidade das mudanças tecnológicas podem levar a análises superficiais e à alocação inadequada de recursos, e resultar em oportunidades perdidas e riscos não mitigados. A ausência de um *framework* sistemático dificulta a identificação das tecnologias mais relevantes e a avaliação de seu potencial impacto nos negócios.

**Originalidade:** este artigo propõe um *framework* prático e abrangente, que combina a análise de ciclos tecnológicos (Kondratieff), o mapeamento de investimentos, a identificação de *clusters* tecnológicos e a construção de mapas tecnológicos (*roadmaps*).

**Impactos:** o artigo oferece um guia estratégico para gestores avaliarem tendências tecnológicas das próximas décadas.

**Palavras-chave:** tendências tecnológicas, gestão estratégica, inovação, ciclos de Kondratieff, *roadmap* tecnológico.


**ODS:** 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura; 8 - Trabalho Decente e Crescimento Econômico; 7 - Energia Limpa e Acessível


## ABSTRACT

***Objective:*** *To provide a strategic framework to assist managers and entrepreneurs in evaluating opportunities and threats arising from the main technological trends between 2025 and 2050.*

***State of the art:*** *Strategic management requires the anticipation of future technological trends. However, the complexity and speed of technological changes can lead to superficial analyses and improper allocation of resources, resulting in missed opportunities and unmitigated risks. The lack of a systematic framework makes it difficult to identify the most relevant technologies and assess their potential impact on business.*

***Originality:*** *This article proposes a practical and comprehensive framework, combining the analysis of technological cycles (Kondratieff), investment mapping, identification of technological clusters, and the construction of technological roadmaps.*

***Impacts:*** *The article provides a strategic guide for managers to evaluate technological trends in the coming decades.*

***Keywords:*** *Technological trends, strategic management, innovation, Kondratieff cycles, technological roadmap.*


***SDGs:*** *9 - Industry, Innovation, and Infrastructure; 8 - Decent Work and Economic Growth; 7 - Affordable and Clean Energy*




Uma das funções mais críticas da gestão estratégica é a identificação de tendências tecnológicas futuras, uma tarefa que vai além de simplesmente observar o que está acontecendo no mercado. Em um mundo caracterizado por mudanças rápidas e disruptivas, os gestores precisam ser capazes de antecipar essas transformações, adaptar suas organizações e posicionar seus negócios de forma a não apenas reagir, mas também liderar as mudanças.

Este artigo tem como objetivo realizar um levantamento das principais tendências tecnológicas emergentes, utilizando uma abordagem metodológica com ferramentas consolidadas que, quando integradas, conseguem ajudar os gestores a visualizar cenários futuros. Em vez de simplesmente listar as inovações mais visíveis, é importante fazer uma análise profunda e estratégica.

Os ciclos tecnológicos[1] são o parâmetro de partida, pois permitem mapear as grandes ondas de inovação e situar a que vivemos atualmente. Em seguida, o mapeamento de investimentos ("siga o dinheiro") revela para onde os recursos estão sendo direcionados e quais áreas despertam maior interesse entre os investidores. A análise de *clusters* tecnológicos,[2] então, agrupa inovações complementares, e ajuda a entender como diferentes áreas de inovação podem se interconectar e gerar novos

modelos de negócios. Por fim, a utilização de *roadmaps*[3] permite uma visualização clara das trajetórias de evolução das tecnologias, ao projetar como elas podem se desenvolver ao longo do tempo.

Com essa abordagem, o artigo oferece tanto uma previsão do futuro tecnológico, quanto uma ferramenta estratégica para os gestores, permitindo-lhes não só entender as mudanças em curso, mas se prepararem para moldá-las dentro de seus próprios negócios. Este artigo pretende, portanto, ser um guia para empresas que buscam se adaptar às novas realidades tecnológicas, de forma a aproveitar as oportunidades e enfrentar as ameaças de forma eficaz e proativa.

**Tabela 1.**

## Ciclos de Kondratieff: períodos e tecnologias

| Ciclo | Período | Descrição tecnológica |
|---|---|---|
| 1º | 1770-1820 | Mecanização inicial |
| 2º | 1820-1870 | Vapor, telégrafo e ferrovias |
| 3º | 1870-1930 | Eletricidade, motor a combustão |
| 4º | 1930-1980 | Produção em massa e energia nuclear |
| 5º | 1980-2030 | Telecomunicações e informática |
| 6º | 2030-2080? | ? |

**Nota:** Adaptado de Freeman e Perez (1988) [5]

## A REVOLUÇÃO TECNOLÓGICA

Nos últimos 250 anos, a humanidade tem vivenciado ciclos tecnológicos de aproximadamente 50 a 60 anos, conhecidos como Ciclos de Kondratieff, nomeados em homenagem ao economista e estatístico russo Nikolai Dimitrievich Kondratieff, que foi o primeiro a testá-los.[4] Cada ciclo culminou com uma crise global que exigiu inovação e gerou novas oportunidades. Atualmente, nos encontramos no final do quinto ciclo.

A Tabela 1 ilustra a evolução dos ciclos tecnológicos, começando com a era da mecanização e culminando na era das telecomunicações e informática, que representam marcos importantes na história do desenvolvimento tecnológico.

A Tabela 2 apresenta as fases de crise de cada ciclo, destacando como as guerras, com suas demandas de inovação e adaptação, frequentemente aceleram a evolução tecnológica, e deixam marcas resistentes na sociedade e na economia global. Durante a Guerra dos Sete Anos, as necessidades de transporte e comunicação mais eficientes impulsionaram inovações que foram essenciais para o ciclo da mecanização inicial. As Guerras Napoleônicas aceleraram o desenvolvimento do vapor, telégrafo e ferrovias, tecnologias que transformaram a comunicação e o transporte. A Primeira Guerra Mundial levou à eletrificação das indústrias e ao avanço do motor a combustão, fundamentais para a base da economia do século XX.

A Segunda Guerra Mundial acelerou a produção em massa e o desenvolvimento da energia nuclear, e impulsionou tecnologias como a computação e o radar, que tiveram impacto profundo nas indústrias. A Guerra Fria, por sua vez, foi crucial para o avanço das telecomunicações e da informática, incluindo a criação da internet e dos computadores pessoais, que transformaram a sociedade digitalmente.

O próximo ciclo será moldado por conflitos como a Guerra da Ucrânia, que estão gerando investimentos tecnológicos massivos. O Department of Defense (DoD) dos EUA, lidera o mundo em investimentos em pesquisa tecnológica, com horizontes que vão de tecnologias de curto prazo a inovações de longo prazo. O orçamento do DoD para pesquisa tecnológica (*Research, Development and Testing of Equipment* - RDToE) saiu de 84,4 bilhões de dólares em 2018,[7] para 131,5 bilhões em 2023.[8] As mudanças geopolíticas recentes também vêm levando ao rearmamento da Europa. Estima-se investimetos de pelo menos 800 bilhões de euros com o programa Readiness 2030.[9]

Os investimentos militares e em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da Rússia, China e Índia são menos divulgados, e não se tem transparência sobre eles. Entretanto, tais investimentos

**Tabela 2.**

## Fase de Crise dos Ciclos de Kondratieff

| Ciclo | Período | Descrição tecnológica |
|---|---|---|
| Pré-ciclos | 1755-1770 | Guerra dos Sete Anos (1756-1763) |
| 1º | 1805-1820 | Guerras Napoleônicas (1805-1815) |
| 2º | 1860-1870 | Guerra da Crimeia, Guerra da Tríplice Aliança, Guerra Civil, Unificação da Alemanha e da Itália |
| 3º | 1914-1930 | Primeira Guerra Mundial e período entre guerras |
| 4º | 1965-1980 | Guerra do Vietnã, corrida especial, Guerra Fria, e Guerras Árabe-Israelenses (1967, 1973). |
| 5º | 2018-2030? | Guerra da Ucrânia, Nova Guerra Fria |

**Fonte:** Adaptado de Alves (2018)[6]

têm aumentado devido à Guerra da Ucrânia, e à possibilidade de uma guerra envolvendo Taiwan em algum momento do futuro.

A nova Guerra Fria trouxe à tona a necessidade de reestruturar as cadeias de produção, promovendo um movimento que está sendo conhecido como *reshoring*. Isso implica em trazer de volta para os EUA e a Europa as indústrias anteriormente transferidas para países com custos mais baixos (*offshoring*).

## OS GARGALOS ATUAIS

Nesse cenário geopolítico, e considerando a tendência de *reshoring*, dois principais gargalos despontam para o desenvolvimento econômico e o posicionamento das empresas. O primeiro é o dos recursos naturais. A população mundial, de cerca de 8 bilhões de pessoas, está em crescimento, com estimativa de chegar a 10 bilhões em 2050 e a 11 bilhões em 2100. Mesmo que o consumo per capita não aumente, o que é improvável, a demanda por recursos naturais futura irá gerar enorme pressão em termos de energia, minério, comida e água, recursos fornecidos majoritariamente pelos países em desenvolvimento. Dessa forma, tem-se uma lógica de busca por novas fontes de matérias-primas por meio da transição energética e da corrida espacial.

O segundo gargalo é populacional. Com a queda das taxas de fertilidade nos países desenvolvidos, suas populações irão encolher e envelhecer no futuro. Enquanto isso, o crescimento populacional global ocorrerá principalmente em países menos desenvolvidos, especialmente na África e no Sul da Ásia. Esse cenário cria um problema duplo: como compensar a falta de mão de obra qualificada e como reduzir os custos relacionados ao cuidado de uma população que, ao envelhecer, precisará se manter saudável e produtiva. Para enfrentar esse desafio, surgem duas lógicas de desenvolvimento tecnológico. A primeira é a automação, voltada para a redução da dependência de mão de obra pouco especializada. A segunda é a melhoria humana, com foco em aumentar a longevidade com qualidade de vida, o que, por sua vez, reduziria os custos com a manutenção da saúde, especialmente após os 65 anos.

A Tabela 3 mostra as três lógicas principais e os eixos tecnológicos que cada uma envolve.

A seguir, detalharemos o desenvolvimento tecnológico em cada uma das lógicas.

## MATÉRIAS-PRIMAS: TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E CORRIDA ESPACIAL

Um dos principais desafios no futuro será encontrar fontes de energia que sejam não apenas baratas, mas também sustentáveis a longo prazo. Devido à finitude de suas reservas, não será possível manter um nível de consumo maior que o atual utilizando apenas combustíveis fósseis. Além disso, a energia de fissão nuclear, embora útil, também não resolverá o problema a longo prazo, uma vez que as reservas de urânio são limitadas. A solução para essa questão provavelmente envolverá tecnologias que ainda não são viáveis, como fusão nuclear,[10] e energia solar no espaço (*Space Based Solar Power* – SBSP).[11]

Como essas tecnologias estão longe de se tornarem realidade, será necessário dar passos intermediários ao longo da transição energética. A Figura 1 traz uma proposta do autor em formato de *roadmap* de tecnologias, ou mapa de estrada, até 2050, e tecnologias subsequentes delineadas de forma hipotética. Quatro grandes trilhas de desenvolvimento são destacadas: combustíveis fósseis, energia nuclear e hidrogênio, energia solar e tecnologia espacial.

Cada trilha está marcada por uma cor diferente. As setas indicam precedência ou requisitos. A seta tracejada indica a possibilidade de abundância de Hélio 3 lunar para alimentar reatores de fusão no espaço, sem a necessidade de transportar combustível da Terra.

**Tabela 3.**

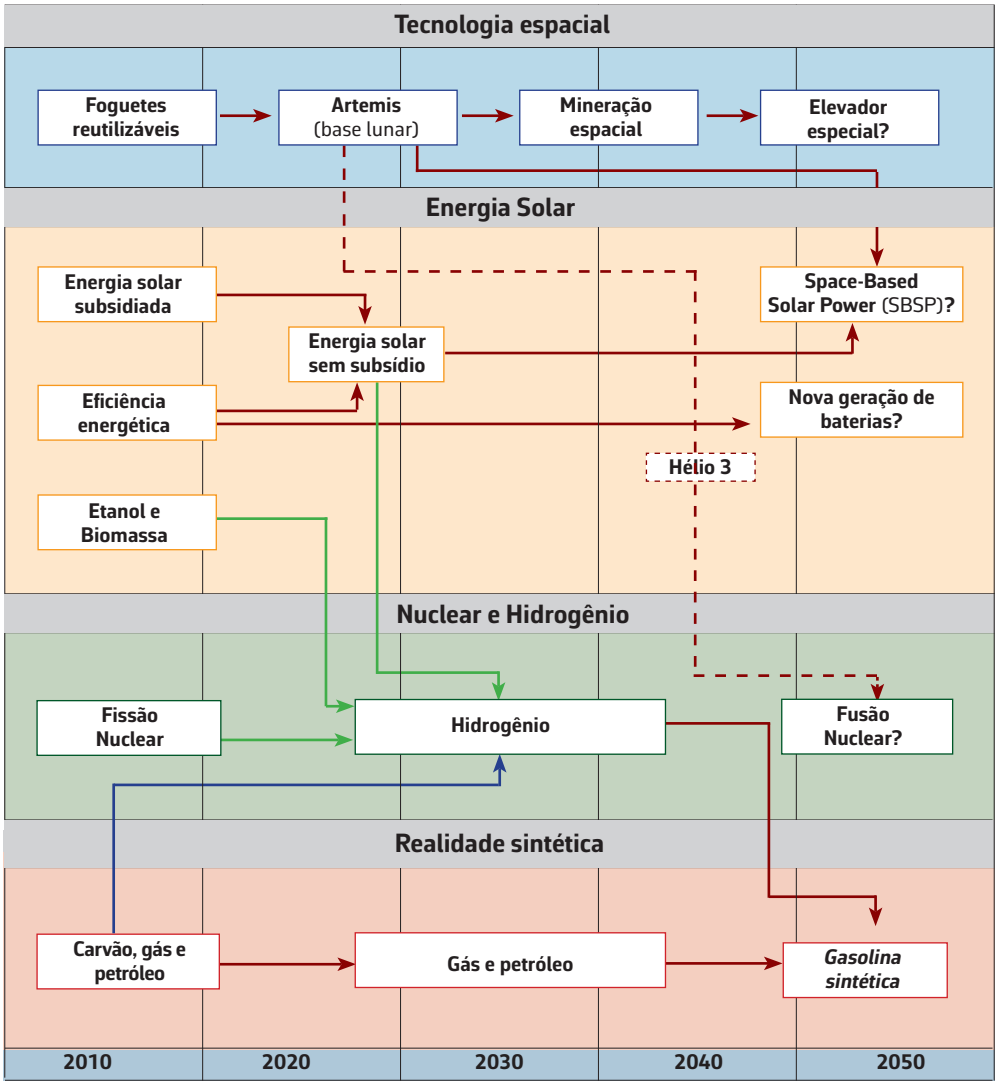
### As lógicas por trás da revolução tecnológica

| Lógica principal | Descrição | Eixos tecnológicos |
|---|---|---|
| Materias-primas | Acesso a novas fontes de matéria-prima e redução da dependência de combustíveis fósseis. | Gás e hidrogênio |
| | | Energia solar |
| | | Energia de fusão |
| | | Mineração espacial |
| | | Energia solar no espaço |
| Automação | Aumento da produtividade, redução da necessidade de mão de obra pouco qualificada e criação de emprego por meio da destruição criativa. | Indústria 4.0 |
| | | Transformação digital |
| | | Agricultura de precisão |
| | | Logística 4.0 |
| Melhoria Humana | Aumento da expectativa de vida, redução dos custos de manutenção de uma força de trabalho saudável e aumento do retorno sobre investimento (ROI) em educação. | Biotecnologia |
| | | Edição genética |
| | | Interface neural |
| | | Medicina avançada |
| | | Bioimpressão |

**Nota:** Autor

**Figura 1.**

## *Roadmap* de tecnologias - energia e espaço




Fonte: Autor

Na trilha dos combustíveis fósseis, o grande desafio será eliminar o consumo de carvão o mais rapidamente possível. No entanto, isso é praticamente inviável antes de 2030, como se pretendia anteriormente para alcançar os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).[12] Os dois passos intermediários essenciais serão a viabilização da energia solar sem a necessidade de subsídios, o que deve ocorrer ainda nesta década, e a popularização do hidrogênio como combustível, seja por meio de células a combustível, seja por motores movidos a amônia. A forma de produção de hidrogênio é diferenciada por cores na Figura 1: verde, quando produzido por eletrólise da água, e azul, quando obtido a partir de gás natural (em geral, metano, CH4).

É importante notar que o programa espacial desempenha papel crucial para a redução dos custos de acesso ao espaço, especialmente para a viabilização de tecnologias como a energia solar no espaço. Atualmente, o custo de enviar um quilograma de carga para a órbita baixa (*Low Earth Orbit* - LEO) está na casa de milhares de dólares, mesmo com foguetes reutilizáveis. O sistema Starship da SpaceX deverá reduzir esse valor para algumas centenas de dólares, enquanto um possível elevador espacial poderá diminuir ainda mais esse custo, para apenas alguns dólares por quilograma, na década de 2060.[13]

Embora o custo atual ainda seja elevado, sistemas de telecomunicações via satélite, como Starlink, OneWeb (Eutelsat) e Telesat Lightspeed, devem substituir os sistemas de telecomunicação tradicionais dentro de dez a vinte anos.[14] O desenvolvimento de uma economia espacial deverá começar no sistema Terra-Lua, expandindo-se gradualmente para o sistema solar interior, possivelmente nas próximas décadas.

### AUTOMAÇÃO - INDÚSTRIA 4.0 E TRANSFORMAÇÃO DIGITAL

Historicamente, o processo de automação industrial pode ser associado aos ciclos de Kondratieff. No entanto, com o desenvolvimento da telemática, desde o quinto ciclo essa automação começou a se expandir para o setor de serviços. O termo Indústria 4.0 surgiu justamente dessa lógica: não se trata de uma inovação completamente nova, mas de uma nova onda de automação nos processos que interconecta os mundos

físico, digital e virtual. De forma similar, a Transformação Digital refere-se à ideia de que um conjunto de tecnologias está transformando a maneira como as organizações operam, e impacta até mesmo seus modelos de negócios e seus portfólios de produtos e serviços.

A fronteira entre a Indústria 4.0 e a Transformação Digital é tênue, pois elas se sobrepõem em diversos aspectos, especialmente em relação aos sensores (IoT) e ao mundo virtual, que facilita engenharia, *design* e testes.[15] A conexão entre esses mundos permite aproveitar os avanços tecnológicos para controlar e otimizar todas as operações, desde compras e engenharia até manufatura, vendas, *marketing*, logística e pós-vendas, de forma a criar um ecossistema interconectado e otimizado ao redor da produção.

Essa transformação envolve várias tecnologias, agrupadas em quatro grandes conglomerados (ou *clusters*), como mostrado na Tabela 4. Entre os avanços mais significativos estão impressoras 3D (manufatura aditiva), exoesqueletos, drones, robôs e *cobots* (robôs colaborativos, com sensores e sistemas de segurança para trabalhar ao lado de humanos), que têm permitido reduzir custos e gerar ganhos de produtividade substanciais. Os robôs antropomórficos, projetados para se assemelhar à aparência e aos movimentos humanos, estão sendo desenvolvidos e começam a ser implementados nas linhas de produção e operações de armazenagem. Além disso, há uma conexão com o eixo da energia, embora o foco não esteja tanto na geração de energia, mas na eficiência e redução de custos.

**Tabela 4.**

***Clusters* da Indústria 4.0**

| *Cluster* | Tecnologias |
|---|---|
| **Manufatura** | Impressão 3D |
| | Robôs e cobots |
| | Novos materiais |
| | Nanotecnologia |
| | Sensores (IoT) |
| **Logística** | Exoesqueletos* |
| | Drones (*indoor e outdoor*) |
| | Cibersegurança |
| | Rastreamento de partes |
| | Gestão de risco |
| **Engenharia e *design*** | Gêmeos digitais** |
| | Realidade aumentada e Realidade virtual |
| | Design generativo e híbrido*** |
| | Teste virtual |
| | *Machine learning* |
| **Energia** | Custo |
| | Sustentabilidade |
| | Eficiência |
| | Economia circular |

**Nota:** *dispositivos vestíveis projetados para suportar o corpo humano, para amplificar sua força e reduzir o esforço físico necessário para realizar tarefas repetitivas ou pesadas.
**réplicas digitais de objetos, sistemas ou processos do mundo real que, via sensores e dados em tempo real, simulam o comportamento de seus equivalentes físicos, e permitem o monitoramento, a otimização e a manutenção preditiva.
***abordagem de *design* que utiliza algoritmos de inteligência artificial para criar soluções de *design* eficientes com base em parâmetros definidos pelo usuário.

A lógica da economia circular também se aplica, e transforma certos produtos em serviços, por meio da servitização.[16] Em vez de vender um produto ou componente, o foco passa a ser gerenciar sua operação, incluindo substituição preventiva, recolhimento e reciclagem das peças usadas. Isso tem sido uma solução para empresas que anteriormente viam seus produtos como *commodities*, o que permite agregar mais valor aos seus negócios.

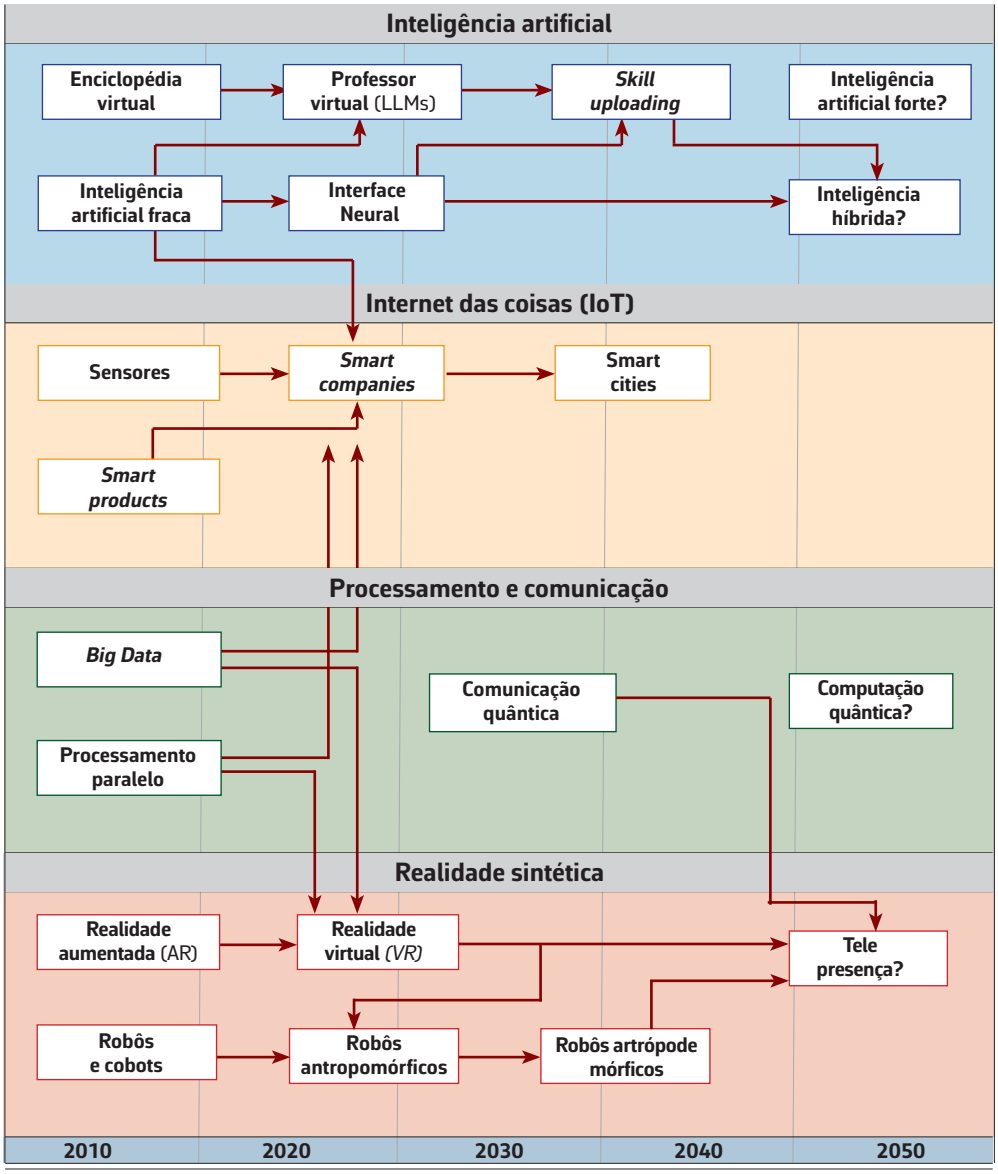
Para entender como esses avanços se desdobrarão ao longo do tempo, é necessário um *roadmap* tecnológico da Transformação Digital e sua conexão com a Indústria 4.0, como mostrado na Figura 2. As quatro principais áreas de desenvolvimento são Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT), Processamento e Comunicação, e Realidade Sintética.

O r*oadmap* descreve várias trilhas inovadoras que moldarão o futuro próximo. Embora não exista uma rota tecnológica definida para atingir a inteligência artificial forte, uma vez que ainda não temos uma teoria da mente suficientemente desenvolvida para descrever cognição superior ou consciência,[17] é possível chegar à inteligência híbrida, que combina o melhor das máquinas com o melhor dos seres humanos. Essa evolução tem potencial de transformar setores como educação, saúde e trabalho, por meio de inovações como professores virtuais e *upload* de habilidades diretamente para o cérebro humano.

O ponto central do desenvolvimento da Transformação Digital pode ser descrito como a melhoria de inteligência competitiva nas empresas,[18] ou a competição analítica.[19] A Internet das Coisas (IoT) surge com produtos inteligentes e empresas inteligentes, e avança para cidades inteligentes que integrarão tecnologia para otimizar recursos urbanos. A realidade sintética também se destaca, com realidade aumentada (AR) e realidade virtual (VR) e cria novas formas de interação e imersão. Além disso, os robôs

**Figura 2.**

## *Roadmap* de tecnologias - Transformação Digital




Nota: Adaptado de Alves (2018)

antropomórficos evoluem para robôs artrópodes mórficos, que têm mais flexibilidade e maior aplicação em tarefas complexas. No horizonte, a computação quântica promete revolucionar o processamento de dados, enquanto a telepresença poderá transformar a comunicação remota, criando uma experiência mais imersiva e interativa.

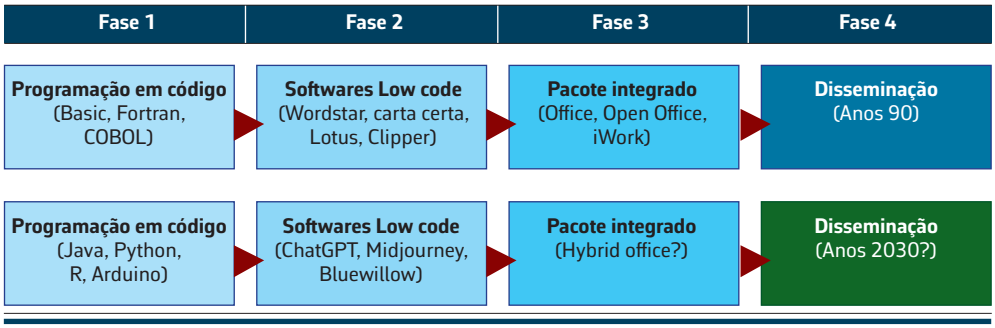
Há uma preocupação de que esse nível de automação possa gerar desemprego, mas, de acordo com o conceito de destruição criativa,[20] a automação tende a criar mais empregos à medida que a demanda aumenta e os custos de produção caem. O problema principal será o da qualificação, que deverá ser resolvido ao longo do tempo, assim como aconteceu com a introdução dos microcomputadores nas décadas de 1980, 1990 e 2000.

A Figura 3 faz uma analogia entre o que ocorreu no passado em quatro fases e o que está ocorrendo e deve ocorrer nas próximas décadas, especialmente nas décadas de 2020, 2030 e 2040. Na primeira fase, programava-se em código, o que era ineficaz em termos de custo e resultado. Na segunda fase, surgiram *softwares* de baixa codificação, o que melhorou significativamente a relação custo-benefício, e acelerou a adoção da tecnologia. Na terceira fase, apareceram pacotes integrados com interfaces amigáveis e intuitivas, e permitiu que uma grande parte da força de trabalho adotasse a tecnologia. A quarta fase é necessária para a disseminação por meio de mecanismos de mercado gratuitos ou parcialmente gratuitos (*freemium*).

As fases 3 e 4 ainda não ocorreram para as tecnologias da Transformação Digital. Usando os ciclos de Kondratieff como referência, espera-se que a fase 3 aconteça no final da década de 2020, e a fase 4 se complete durante a década de 2030. Na década de 2040, a expectativa é de uma grande massa de trabalhadores utilizando sistemas bem mais amigáveis, para então gerar uma verdadeira revolução tecnológica. Isso implica que, nas próximas décadas, haverá uma grande demanda por retreinamento da força de trabalho em tecnologias que ainda nem existem. Esse processo é expresso em termos de educação executiva como *reskilling* (retreinamento) e *upskilling* (melhoria da qualificação).

**Figura 3.**

**Fases do desenvolvimento de computação e IA**




## MELHORIA HUMANA

À medida que a automação avança, a necessidade de mão de obra em geral diminui, mas os postos de trabalho se tornam cada vez mais especializados. Essa mão de obra altamente qualificada exige tempo e altos custos para ser desenvolvida. Estender a longevidade com qualidade de vida torna-se uma necessidade econômica, e permite diluir ao longo do tempo o investimento em qualificação, além de ser um desejo de muitas pessoas viver por mais tempo.

Esse processo pode ser visto como uma nova fase no contínuo aumento da longevidade ao longo dos ciclos de Kondratieff. No final do século XVIII, a expectativa de vida ao nascer era de apenas 25 anos. Desde então, esse número tem aumentado e, hoje, em países desenvolvidos, a expectativa de vida ultrapassa os 80 anos. O número de pessoas centenárias tem crescido consideravelmente.

A Tabela 5 mostra as tecnologias voltadas para a melhoria humana, agrupadas em três conglomerados: antienvelhecimento, cura de doenças e melhoria humana propriamente dita.

Especificamente, a terapia de telômeros, que visa regenerar os telômeros na ponta do DNA, promete estender a expectativa de vida até cerca de 120 anos.[21] Combinada com a melhoria genética, por meio de ferramentas como o Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats (CRISPR),[22] é possível eliminar riscos associados a predisposições genéticas, como os genes SIRT1 e SIRT6, que têm grande potencial.[23] Isso poderia elevar a expectativa de vida para cerca de 150 anos.

O modelo de negócios do setor de saúde precisará se afastar do foco curativo (remunerado pela cura) para um modelo regenerativo (remunerado pela manutenção da saúde). Atualmente, médicos, hospitais e farmacêuticas ganham para resolver problemas de saúde, enquanto os planos de saúde são remunerados para manter o cliente saudável, o que os incentiva a adotar sistemas de medicina preventiva.

Embora a medicina preventiva já tenha evoluído nos últimos 150 anos, ainda estamos muito vinculados ao modelo "hospitalocêntrico", que foca no tratamento de doenças após seu surgimento. O objetivo da medicina regenerativa será manter o corpo jovem pelo maior tempo possível, embora não indefinidamente. Apesar de não ser possível determinar qual é o limite máximo de longevidade que a espécie humana pode alcançar, extrapolando o avanço da longevidade nos últimos 280 anos, é razoável esperar uma expectativa de vida entre 120 e 150 anos até o final do século XXI.

**Tabela 5.**

**Conglomerados de melhoria humana**

| Conglomerado | Tecnologias |
|---|---|
| Antienvelhecimento | Terapia de telômeros |
| | Bioimpressão |
| | Terapia com células tronco |
| | Neurogênese |
| Cura de doenças | Nanotecnologia |
| | Nanorobôs |
| | Terapia genética |
| | Marcadores quânticos |
| Melhoria humana | Melhoria genética (CRISPR) |
| | Interface neural (BCI) |
| | Exoesqueletos |
| | Lentes biônicas |

## RECOMENDAÇÕES AO GESTORES

Ao longo dos ciclos de Kondratieff, observamos como revoluções tecnológicas, ao desencadear mudanças culturais e criar novos setores da economia, também provocam um processo de destruição criativa que remodela indústrias, mercados e até estruturas políticas. Hoje, estamos no meio de mais uma dessas transformações, com novas tecnologias que além de desafiar os modelos tradicionais de negócio, também oferecem uma vasta gama de oportunidades estratégicas para quem souber se antecipar e liderar a inovação.

Para os gestores, a principal questão não é apenas acompanhar essas tendências, mas entender como elas podem alterar ou até mesmo redefinir seus negócios. A verdadeira diferença entre as empresas que prosperam e aquelas que sucumbem é a capacida-

de de prever mudanças, utilizando ferramentas estratégicas como mapas de tecnologia (*roadmaps*) e *clusters* tecnológicos. Esses mapas não servem apenas para prever o futuro, mas para orientar as decisões estratégicas no presente.

Uma gestão eficaz das tendências emergentes exige que os gestores adotem uma postura de experimentos controlados dentro de seus próprios negócios. Isso pode significar, por exemplo, investir em projetos-piloto para entender como uma tecnologia pode ser implementada sem comprometer a qualidade ou a eficiência, e de testar novas formas de operar e lógicas de negócio. As fases de teste tanto ajudam a adaptar as soluções às necessidades específicas da empresa, quanto permitem identificar quais aspectos do negócio podem ser realmente transformados.

Ao mesmo tempo, os gestores precisam estar cientes de que o avanço das tecnologias não acontecerá de forma linear, e que o conceito de tempo de transição é fundamental. É necessário planejar e preparar a organização para absorver as mudanças de forma gradual, com etapas claras de adaptação, antes de alcançar a transformação total. O uso de *roadmaps* tecnológicos é essencial nesse ponto, pois permite aos gestores visualizar, passo a passo, como as inovações se integrarão ao negócio ao longo dos anos, seja pela adoção de novas tecnologias seja pela reformulação de modelos de negócios.

Os gestores também devem estar preparados para as possíveis obsolescências que surgem à medida que novos produtos e serviços são introduzidos no mercado. O que muitas vezes ocorre é uma resistência à mudança, devido ao risco de perder o valor investido em tecnologias antigas. Mas, em um ambiente de transformação contínua, o segredo não está em evitar a mudança. Encarar a mudança, adaptando-se às novas realidades, pode ser a única forma de evitar que o mercado faça isso por você. E, se alguém for matar o seu negócio, melhor que seja você mesmo.

## NOTAS


**1.** Kondratieff, N. D. (1935, Novembro). The Long waves in Economic Life. Review of Economics Statistics, 17(6), 105-115. https://doi.org/10.2307/1928486 [1] Kondratieff, N. D. (1935, Novembro). The Long waves in Economic Life. *Review of Economics Statistics, 17*(6), 105-115. https://doi.org/10.2307/19284886

**2.** Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J. and Anderson, R.E. (2010). *Multivariate Data Analysis*. 7th Edition, Pearson, New York.

**3.** Phaal, R., Farrukh, C. J. P. & Probert, D.R. (2004). Technology roadmapping-A planning framework for evolution and revolution. *Technological Forecasting & Social Change, 71*(1-2), 5-26. https://doi.org/10.1016/S0040-1625(03)00072-6

**4.** Kondratieff, N. D. (1979). The long waves in economic life. Review (Fernand Braudel Center), *Review: a journal of the Fernand Braudel Center for the Study of Economies, Historical Systems and Civilizations, 2*(4), 519-562. ISSN 0147-9032, ZDB-ID 402161-7

**5.** Freeman, Christopher, Perez, Carlota. (1988). Structural crises of adjustment, business cycles and investment behavior. In G. DOSI et al. (Ed.). *Technical Change and Economic Theory*. London: Pinter publisher's limited.

**6.** Alves, P.V.S. (2018). *Um século em quatro atos*. Rio de Janeiro: Alta Books.

**7.** Aeroweb. *US DoD spending*. (2023). http://www.fi-aeroweb.com/Defense-Spending.html

**8.** US Department Of Defense – DoD. (2022, March 28). *The department of Defense releases the president's fiscal year 2023 defense budget.* https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/2980014/the-department-of-defense-releases-the-presidents-fiscal-year-2023-defense-budg/

**9.** European Union. (2025). *White paper for European Defence – Readiness 2030*. https://commission.europa.eu/document/download/e6d5db69-e0ab-4bec-9dc0-3867b4373019_en?filename=White+paper+for+European+defence+–+Readiness+2030.pdf.

**10.** World nuclear association. *Nuclear fusion power.* (2025, Feb). https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-fusion-power

**11.** NASA. *Space Based Solar Power.* (2024, Jan 11). https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2024/01/otps-sbsp-report-final-tagged-approved-1-8-24-tagged-v2.pdf?emrc=744da1

**12.** IEA. *Achieving a swift reduction in global coal emissions is the central challenge for reaching international climate targets*. (2022, Nov. 15). https://www.iea.org/news/achieving-a-swift-reduction-in-global-coal-emissions-is-the-central-challenge-for-reaching-international-climate-targets

**13.** Future timeline. *Launch costs to low Earth orbit 1980-2100*. https://futuretimeline.net/data-trends/6.htm

**14.** Fortune business insights. *Satellite Communication (SATCOM) Market Size, Share and Industry analysis*. https://www.fortunebusinessinsights.com/satellite-communication-satcom-market-102679

**15.** IBM. *What digital transformation is.* https://www.ibm.com/think/topics/digital-transformation

**16.** UNDP . *What is circular economy and why does it matter*. https://climatepromise.undp.org/news-and-stories/what-is-circular-economy-and-how-it-helps-fight-climate-change

**17.** Lucas, J. R, Minds, machines and Gödel (1961 April). *Philosophy, 36*(137), 112-127. https://doi.org/10.1017/S0031819100057983

**18.** Porter, M. E; Heppelmann. J.E. (2014, Nov.). How smart connected products are transforming competition. *Harvard Business Review*, 65-88.; Porter, M. E; Heppelmann, J.E. (2015, Oct.). How smart, connected products are transforming companies. *Harvard Business Review*, 96-114.

**19.** Davenport, T. H E Harris, J. G. (2007). *Competição analítica:* vencendo através da nova ciência. Rio de Janeiro: Campus.
**20.** Schumpeter, J. A (1962). *Capitalism, Socialism, and Democracy*. New York: Harper & Row.
**21.** Boccardi, V. Herbug U. (2012). Telomerase gene therapy: a novel approach to combat aging. *EMBO Molecular Medicine, 4*, 685-687. https://doi.org/10.1002/emmm.201200246
**22.** Stanford Report. (2024). *Stanford Explainer:* CRISPR Gene editing and Beyond. Stanford University. https://news.stanford.edu/stories/2024/06/stanford-explainer-crispr-gene-editing-and-beyond
**23.** You, Z. Ling. W (2023, Out.). SIRT1 and SIRT6 : The role in aging-related diseases. *Biochimica et Biophysica (BBA) Molecular basis of disease, 186*9(7). https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2023.166815

**CONFLITOS DE INTERESSE**
O autor não tem conflitos de interesse a declarar.

**CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA**
**Paulo Vicente dos Santos Alves:** Conceitualização, Investigação, Metodologia, e Redação - rascunho original; Redação – revisão e edição.

**Artigo convidado**. Avaliado pela co-editora da GV-executivo e Editores convidados.
Submetido 21-03-2025. Aprovado 15-05-2025.
**Versão original.** DOI: https://doi.org/10.12660/gvexec.v24n2.2025.93574