

MEGA TENDÊNCIAS MUNDIAIS 2040

Organização
Elaine C. Marcial
Marcello José Pio



MEGATENDÊNCIAS MUNDIAIS 2040

Contribuição para um debate de longo prazo para o Brasil

Organização:
Elaine C. Marcial
Marcello José Pio

2023

©Universidade Católica de Brasília – Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos (NEP-UCB) 2023

Tiragem: 300 exemplares

Impressão

Editoração eletrônica: Mariana Sousa de Araujo

Capa: Eduardo Amaral Melo e Raquel Valadares Borges

Revisão: Mariana Sousa de Araujo

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Cristine Coutinho Marcial

Megatendências mundiais 2040: contribuição para um debate de longo prazo para o Brasil / organização : Elaine C. Marcial; Marcello José Pio. – Brasília, 2023.

459 p.: il., gráf., fot., color.

Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-00-60610-2

CDD: 338.981

1. Megatendências. 2. Mundo. 3. Estratégia. 4. Estudos de futuro I. Marcial, Elaine Coutinho. II. Universidade Católica de Brasília III. Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos – NEP-UCB.

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista da Universidade Católica de Brasília.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados neles contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidos.

Contato NEP-UCB: elamarcial@gmail.com

Sumário

Prefácio 5

Capítulo 1

Introdução 8

Capítulo 2

As megatendências mundiais 2040 24

Parte II – População e sociedade 41

Capítulo 3

Dinâmica populacional 44

Capítulo 4

O futuro da saúde no mundo 58

Capítulo 5

Educação no futuro 78

Capítulo 6

Consumidor do futuro 106

Capítulo 7

O futuro do mercado de trabalho 122

Capítulo 8

Cidades do futuro 138

Parte III – Geopolítica mundial 165

Capítulo 9

Geopolítica mundial 168

Geopolítica 187

Parte IV – Ciência e tecnologia 217

Capítulo 10

Desenvolvimento tecnológico multidisciplinar 220

Capítulo 11

Conectividade e transformação digital 230

Capítulo 12

Transações e segurança cibernéticas 254

Capítulo 13

Automação 4.0 274

Capítulo 14

Novos materiais Estratégicos 294

Capítulo 15

Avanços das tecnologias na fronteira do conhecimento: bio e nanotecnologia 312

Capítulo 16

Exploração espacial 332

Parte V – Econômica 343

Capítulo 17

Aspectos de continuidade e possibilidades de mudanças na economia mundial 346

Capítulo 18

Setor de energia 374

Capítulo 19

Agricultura e alimentação 390

Capítulo 20

A logística do futuro 406

Parte VI – Meio ambiente 423

Capítulo 21

Meio ambiente 428

Capítulo 22

A progressiva degradação ambiental 444

Capítulo 23

Horizonte turvo social e econômico em relação aos comportamentos futuros 454

Prefácio

Muito se fala de futuro. Mas com os avanços da tecnologia já existem percepções que já vivemos no futuro.

Daí que 2040 é ali!!!

E no caso brasileiro ainda temos a máxima que o Brasil é o país do futuro.

Assim, livros como o presente são estratégicos para o processo de planejamento público e privado, além de ferramenta importante para o processo de tomada de decisão.

Megatendências são formas de consolidação de caminhos onde já existem consensos de rumos que serão a base de ambientes futuros. São eventos com alta probabilidade de ocorrência futura. Elas impactam a sociedade, a economia, os negócios e tudo que se relaciona com a vida das pessoas nos territórios. Elas são transformadoras.

E como futuro se constrói, e nos tempos de hoje utilizar os alicerces da educação, *ciência e tecnologia*, como tripé de preparação para este futuro almejado, o que temos na leitura do livro tem muita base conceitual, seja pela sua estrutura metodológica, seja pela sua linha de construção do consenso.

A ausência de *think tanks* no país que tenham a contínua tarefa de olhar o futuro, leva a que tenhamos pouco hábito e experiência de construção de cenários e visões, que nos levam, com raras exceções, ter documentos de futuro, com horizontes de longo prazo, afora a falta de cultura nos tempos de hoje de instrumentos de planejamento de Estado, que também servem de balizadores para construção de futuros.

Mas elaborar estudos de futuro se torna cada vez mais estratégico para processos de planejamento. Estes estudos são base para ajudar organizações públicas e privadas a construir suas estratégias vencedoras e mitigar riscos.

O presente livro é um chamamento à reflexão dos movimentos no mundo e como afetam ou afetarão o nosso dia a dia, contribuindo para formatar este novo futuro. E como tal, sinalizam oportunidades e desafios. E para tanto uma análise de estar preparado ou como se preparar para este enfrentamento.

A forma de estruturação do livro é interessante para leitura, pois

permite o fazer de forma não linear, e em suas sete partes, onde as 12 megatendências, foram organizadas em cinco dimensões:

- *População e sociedade;*
- *Geopolítica;*
- *Ciência e tecnologia;*
- Economia; e
- *Meio ambiente.*

Deve ser dado destaque ao grande trabalho de organização e as contribuições de conteúdo conseguida na presente obra, onde com certeza se conseguiu um instrumento muito relevante para estudos de futuro, parte fundamental para termos desenvolvimento inclusivo e sustentável, que nos posicione como país, em lugar adequado as nossas capacidades e competências, e que consigamos em breve termos uma nação mais equânime e justa.

Com ênfase em capital humano e infra estruturas nacionais de conhecimento que apoiem o desenvolvimento empresarial, com boas práticas de gestão, desde que tenhamos foco, prioridade e perseverança de propósito, construir um futuro melhor é possível.

Boa leitura!

Por Paulo Alvin

Ex-Ministro da Ciência, Tecnologia e Inovação

Capítulo 1

Introdução

Elaine C. Marcial¹

¹ Elaine C. Marcial, Doutorado em Ciência da Informação, especialista em estudos de futuro e inteligência competitiva, Professora do Mestrado na Universidade Católica de Brasília (UCB) e Coordenadora do Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos na Universidade Católica de Brasília (NEP-UCB).

Introdução

Desde 1930, busca-se, por meio dos mais diversos processos de planejamento estratégico, extrair visões convergentes para o futuro do Brasil. Conforme mencionado no prólogo do livro *Brasil 2035* (Marcial et al., 2015), redigido por Alessandro Candeas, a visão de futuro do Brasil é historicamente otimista, sempre apontando para um futuro brilhante. No entanto, percebe-se que, em muitos desses exercícios, o macroambiente mundial em que o País estava inserido era analisado de maneira superficial, quando não desconsiderado.

Em um mundo altamente conectado, o que acontece em qualquer lugar do mundo não somente afeta todos os países quanto às organizações e as pessoas que vivem neles. Sendo assim, para a formulação de estratégias robustas e vencedoras torna-se necessário analisar o ambiente internacional presente e principalmente, futuro, buscando identificar as grandes transformações em andamento, as forças em atuação no ambiente, as grandes incertezas existentes, bem como as possíveis rupturas a frente para estarmos melhor preparados para enfrentá-las e ainda tirar proveito delas.

A falta de *think tanks* no Brasil que olhem para o futuro leva o país a não ter o hábito de exercitar tais visões. Nem do próprio país quanto mais do mundo quando é necessário tomar decisões. Alguns ainda trabalham com projeções, que tem seu valor, pois é melhor ter alguma informação do que nenhuma em um processo decisório. Por outro lado, nos leva a crer que o futuro será um prolongamento do passado, o que não é verdade hoje em dia visto que vivemos em um mundo que sofre grandes transformações e tem sido chamado de VUCA – volátil, incerto, complexo e ambíguo.

De qualquer forma, realizar estudos de futuro faz parte da atividade associada ao planejamento estratégico e à tomada de decisão de países e organizações públicas ou privadas ao redor do mundo. Sem a produção de informação sobre o futuro torna-se difícil a formulação de estratégias vencedoras, ainda mais em momentos turbulentos como os vividos atualmente. Portanto, construir visões a respeito do futuro é uma atividade necessária para ajudar as organizações a formularem suas estratégias.

Independente do objetivo a ser alcançado, seja o desenvolvi-

mento de um país ou a conquista de novos mercados, não basta olhar para o futuro deste ou daquele objeto. É necessário o conhecimento das forças externas que atuam permanentemente sobre ele, pois muitas vezes, questões ligadas ao macroambiente exercem influência maior do que as do micro e, em alguns casos, elas ainda não foram absorvidas pelo microambiente. Deve-se também não estar preso a um espaço geográfico, há a necessidade de olharmos para o mundo.

Uma das formas consagradas mundialmente de olhar para o futuro é por meio da identificação de megatendências. Apesar de ser impossível prever o futuro, ainda mais em um mundo VUCA, é possível e desejável que se identifiquem tendências, megatendências e surpresas inevitáveis que irão moldar o futuro (Ferris, 2011; Schwartz, 2003). Essas sementes de futuro não dizem respeito a previsões, mas eventos com alta probabilidade de ocorrência futura.

Cabe lembrar que o termo Megatendências não é novo, foi usado pela primeira vez por John Naisbitt em 1982, em seu *best-seller Megatrends: dez novas direções transformando nossas vidas*. Naisbitt introduziu uma nova técnica de coletar tendências em nossa sociedade, utilizando-se de uma análise detalhada do que a mídia noticiosa estava relatando e conectando eventos individuais para entender padrões maiores (Naisbitt, 1982). Embora cada megatendência exista de forma autônoma, há uma clara inter-relação entre elas (EY, 2015).

Há diversas definições de megatendências que complementam as ideias de Naisbitt (McGregor, 2012; PWC, 2016). Em geral, as megatendências são movimentos que se tornam grandes forças, representam a agregação e síntese de múltiplas tendências globais com padrões transformadores que mudam o mundo ou definem o presente e têm o potencial de moldar o futuro (CIFS, 2017, p.10; EY, 2015; Hajkowicz, al., 2012, p. 7; McGregor, 2012; Hajkowicz & Moody, 2010, p.2; PWC, 2016).

As megatendências impactam os negócios, a economia, a sociedade, o *meio ambiente*, a cultura e os indivíduos. Elas transformam a sociedade, os indivíduos e os atores locais, mudando o modo de vida e de pensamento das pessoas para as próximas décadas, representando grandes mudanças importantes no progresso de uma sociedade ou de qualquer outro campo ou atividade em particular (CIFS, 2017, p.10; EY, 2015; McGregor, 2012; Hansen et al., 2012, p. 7; PWC, 2016). De alguma forma, diversos processos de formulação de estratégia giram em torno delas.

A consulta a *experts* é importante na identificação de megaten-

dências para reduzir a ocorrência de vieses cognitivas na construção dessas visões de futuro. Esta é uma das formas mais utilizadas para tal (KPMG, 2012; Öner et al., 2007). Estudos como o relatório de foresight da Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO¹) ou pelo National Intelligence Council (NIC): “Paradoxo do progresso das tendências globais” (NIC, 2017²) são exemplos do quanto é importante a consulta a *experts* nesses processos. Por isso, para o levantamento das megatendências mundiais 2040, descritas neste livro, foi realizado o levantamento da percepção de *experts* nacionais e internacionais, sobre o futuro do mundo com a finalidade de produção de subsídios para a elaboração de cenários para o Brasil em 2040.

Cabe destacar que essas forças em atuação no ambiente tanto mostram os movimentos mais consolidados, que estão em andamento, quanto chamam a atenção das incertezas associadas a ela. Como estão em movimento, há questões ainda em construção, que também criam incerteza em sua volta, e a complexidade ambiental nos alerta que o que estamos vendo pode apresentar nuances a serem reveladas no futuro que ainda não temos a capacidade de enxergar hoje.

A volatilidade ambiental é alimentada não somente por acontecimentos reais, mas também por uma guerra de narrativas onde muitas vezes não se consegue distinguir entre o que é verdade ou não, dado a velocidade e o volume de informações que recebemos a cada hora. Elas fluem por diversos canais de comunicação aos quais estamos conectados e que, muitas vezes, não dispomos de tempo suficiente para refletir sobre o que realmente está acontecendo.

Este livro é um convite à reflexão dos principais movimentos que ocorrem no mundo, que nos afetam direta e indiretamente e que estão moldando o nosso futuro. Essas forças nos apresentam diversas oportunidades como também desafios a serem superados. Demandam uma reflexão se estamos ou não preparados para esse novo mundo que se anuncia, repleto de possibilidades e de desafios que ainda teremos que aprender como vamos lidar com eles. Costumo dizer que ainda estamos presos no século passado e ainda não entendemos as mudanças que estão acontecendo, fruto de um desenvolvimento científico e tecnológico acelerado.

1 O estudo desenvolvido pelo CSIRO foi construído com a contribuição de mais de 40 cientistas e equipes de desenvolvimento de negócios em todo o mundo (Hajkowicz; Moody, 2010, p. 2).

2 O estudo desenvolvido pelo NIC envolveu mais de 2.500 pessoas de 35 países em todo o mundo na sua construção.

Se por um lado a tecnologia nos traz diversas benéncias, por outro pode gerar uma série de problemas. Imagine como teria sido ficarmos confinados durante a pandemia do COVID-19 sem as videochamadas, que nos colocava mais próximos aos nossos entes queridos e viabilizaram a realização do trabalho remoto e da educação a distância. Entretanto, o excesso de conectividade tem gerado uma série de transtornos, como a ansiedade e outros distúrbios mentais. Já há pessoas que não conseguem ficar sem acessar o celular a todo o instante. Esse ambiente de hiperconectividade avança de forma rápida e não somente conectando as pessoas, mas as pessoas as coisas, e em breve, presenciaremos um grande avanço da conexão entre coisas sem a intervenção humana, capitaneada pela Internet das Coisas (IoT), que ainda se encontra no início da sua “infância”.

A força da transformação digital será amplificada com a entrada da virtualização e da IoT, que ampliará ainda mais o ambiente de hiperinformação que vivemos, retroalimentando os avanços científicos, tecnológicos e de inovação, além de alterar ainda mais o ambiente produtivo e de negócios. A potencialidade da virtualização é muito grande apesar de ainda portar muita incerteza, como por exemplo, no campo do metaverso.

O avanço tecnológico ultrapassou a barreira material de produtos e entrou no setor de serviços, alterando modelos de negócio e o acesso aos serviços. Entretanto, muitas dessas inovações ainda não foram compreendidas por muitos, pois ainda estamos presos a um mundo que não existe mais. Um exemplo do que estou falando é o Uber. Muitos ainda não entenderam que tanto quem pede o transporte quanto quem fornece o transporte são clientes do Uber. O “motorista de Uber”, como são chamados atualmente, não é “empregado” do Uber, é um usuário dessa plataforma, por isso ele paga pelo uso. E ninguém se pergunta que empregado paga ao patrão para trabalhar. Não paga, o patrão paga pelo serviço prestado. Logo, o “motorista de Uber” não é empregado do Uber e sim um cliente e empreendedor e deve ser tratado como tal.

Outro ponto que nos afeta diretamente e que é pouco discutido, também fruto do avanço científico e tecnológico que vivemos, é o envelhecimento da população. Quando esse fenômeno é discutido, em geral é analisado sob a ótica da previdência, como se fosse basicamente uma questão financeira. Entretanto, apesar de se tratar de um tema muito importante, ele é muito mais complexo do que imaginamos. Por exemplo, o envelhecimento da população representa que há menos jovens na sociedade, pois nascem menos bebês. Muitos países, a exemplo

do Brasil, não repõem mais a sua população há mais de uma década. A vida moderna, incluindo a ascensão da mulher ao mercado de trabalho, fez com que o tamanho das famílias se reduzisse. “Ter um filho é caro”, muitos dizem. O problema é que a redução da entrada de pessoas na PEA³ também afeta o sistema previdenciário, em especial o brasileiro que é solidário. Então, não basta aumentar a idade média de aposentadoria, temos que mexer na outra ponta também. Há países na Europa que, com muito custo, conseguiram reverter o processo, mas ainda não repõe sua população. Já estamos atrasados neste sentido de incentivarmos, em especial, a classe média, a voltar a ter filhos.

Outro ponto que também onera o sistema de bem-estar social são os gastos com saúde. O jovem onera muito menos o setor de saúde do que o idosos, ainda mais quando se associa ao tema a mudança do paradigma da cura para o cuidado no campo da saúde. Além disso, com o avanço da expectativa de vida, novas doenças associadas à velhice têm surgido ou aumentado o número de casos, em especial aquelas relacionadas às diversas demências, como por exemplo a doença de Alzheimer, demandando mais cuidados e investimentos na área de saúde. A própria sofisticação dos exames existentes hoje em dia, que nos fornece maior precisão nos diagnósticos e os tratamentos disponíveis, são caros, onerando cada vez mais o sistema de saúde, seja ele público ou privado.

Ampliar somente a idade mínima de aposentadoria não soluciona esses e nem outros problemas associados ao envelhecimento da população, que também irá demandar a adequação das cidades aos idosos, com a construção de espaços de lazer como existem hoje para as crianças. Vejam, quando se vai a um *shopping* há banheiros adaptados para crianças e deficientes físicos, mas não para idosos. Teremos também que repensar a jornada de trabalho. Após uma determinada idade, além de não terem mais a energia dos jovens para aguentarem grandes jornadas de trabalho, os idosos demandarão muito mais tempo para cuidar da saúde. A capacitação continuada também é outro desafio, visto que com o avanço do desenvolvimento científico e tecnológico esses idosos, que ainda estarão no mercado de trabalho, terão que ser recapitados e estimulados ao desenvolvimento de novas competências, enfrentando condições muitas vezes desfavoráveis em relação aos mais jovens, que aprendem muito mais rápido, ainda mais se forem nativos digitais.

Se por um lado, o envelhecimento da população nos traz diver-

3 PEA – população economicamente ativa.

sof desafios por outro abre uma série de oportunidades como a oferta de produtos e serviços para esse nicho que somente cresce, ainda mais em um país tropical que poderia receber idosos do mundo inteiro para passar os meses de inverno, em sua terra natal, no Brasil. Mas para isso, seria necessário oferecermos uma infraestrutura capaz de receber esse nicho de mercado e acolhê-los por vários meses.

Apesar de não repormos mais a população em vários locais do mundo, as disputas por recursos naturais continuam crescendo. Muito do crescimento dessas disputas estão associadas ao crescimento da classe média observado em todo o mundo nas décadas passadas. Mesmo com a expectativa de manutenção de seu tamanho, para as próximas décadas, em função das sucessivas crises que temos passados, esse contingente ainda é grande e o consumo somente aumenta. Água, energia e alimentos permanecerão como os principais focos de disputas. No caso da água, o fato de apresentar usos múltiplos faz com que as disputas sejam ainda maiores, pois além da disputa pela posse há as disputas entre seus usos múltiplos.

No caso da energia, a busca por energia em abundância, barata e renovável impulsiona investimentos, inclusive no campo das pesquisas científicas, de desenvolvimento tecnológico e de inovação. A transição para uma economia de baixo carbono impacta diretamente no crescimento da eletrificação da economia. Entretanto, esbarra no desafio da produção mais eficiente da energia renovável e do seu armazenamento, visto que muitas são intermitentes, como é o caso da solar e da eólica. Há também necessidade de melhoria das baterias utilizadas pelos veículos elétricos. São desafios apresentados a ampliação do tempo de armazenamento, durabilidade e descarte que causem menor impacto ambiental.

A área de energia, juntamente com outras, impulsionará o desenvolvimento de novos materiais. Espera-se que tanto os avanços nos campos da nano quanto da biotecnologia irão revolucionar esta área.

A evolução científica e tecnológica também traz desafios em relação à oferta de postos de trabalho. O avanço da automação – em especial a robótica, a inteligência artificial (IA), os *drones* e a impressora 3D – associadas às tecnologias da informação e comunicação (TIC) – dando ênfase para o avanço da Internet das Coisas (IoT) – irá reduzir drasticamente a oferta de postos de trabalho. Esse processo provavelmente passará a ser mais percebido quando os resultados da nova corrida espacial começarem a chegar à população da Terra, visto que

a expectativa é de que quando chegarmos a Marte as instalações já estarão prontas para nos receber. Tudo construído tendo como suporte a automação, a digitização⁴ e a comunicação, inclusive a longa distância.

Para se ter uma ideia, hoje a IA já produz melhores diagnósticos do que os médicos tradicionais em algumas áreas. Uma simples busca na internet pode proporcionar várias listas e estudos que vêm sendo feitos ao redor do mundo alertando esse fenômeno. Imaginem a quantidade de pessoas desempregadas somente com a entrada dos veículos autônomos e o uso de *drones* e outros veículos não tripulados para entrega de mercadorias?

Por outro lado, é possível também achar listas de novas profissões que irão surgir nos próximos anos, resultado dessas grandes mudanças em andamento. Entretanto, ainda estamos presos ao passado e o sistema educacional continua desenvolvendo competências que eram exigidas no passado e não as que serão demandas no futuro. A área de ensino necessitará passar por uma grande revolução e as competências STEM (ciência, tecnologia, engenharia e matemática) já deveriam ser incentivadas em todas as áreas do conhecimento desde o ensino básico e, em especial, nas áreas das ciências humanas e sociais, o que não é feito. Por exemplo, um linguista é chave para melhorar, por exemplo, a interface entre o homem e computador, os operadores de busca na internet e para o avanço da neurociência. Entretanto, para desenvolver tais atividades, não basta somente conhecer como as “línguas funcionam”, mas desenvolver habilidade e a compreensão de como a sua área se conecta com as áreas STEM.

A nova corrida espacial é outra grande força que não tem sido debatida e refletida no Brasil adequadamente. Além disso, há opiniões contrárias. Alguns formadores de opinião brasileiros advogam que há muitos problemas sociais a serem resolvidos no Brasil e que investir em um programa espacial não deveria ser prioridade. A questão é que o mundo não pensa assim e não é somente o mundo desenvolvido.

Dos BRICS, somente o Brasil não tem um programa espacial fortalecido. Se não estivermos participando desse processo vamos ficar mais uma vez fora das grandes descobertas e inovações disruptivas que a conquista do espaço irá proporcionar à humanidade. O *spin-off* desse

4 Digitização é tornar o negócio digital. Está relacionado a alterações profundas nos modelos, processos, estratégias dos negócios e estrutura da empresa, que pode passar a atuar também no *online*. O uso inteligente das informações armazenadas “em nuvem”, capturada por dispositivos digitais, propicia o crescimento da inovação e a criação de uma nova cultura organizacional, produtos e soluções para os consumidores.

processo poderá nos ajudar inclusive a solucionar problemas sociais existentes atualmente. É necessário enxergar com as lentes do futuro e não do passado. Outro ponto a ser considerado também é o fato de haver um limite de órbitas de satélites – base de boa parte das comunicações existentes hoje em dia. Se não ocuparmos algumas dessas órbitas com nossos satélites, ficaremos dependentes e nas mãos ou de outros países ou de empresas privadas, o que é um risco para a segurança nacional, seja em relação a espionagem ou mesmo a garantia do fornecimento dos serviços de telecomunicações. Cabe também lembrar a importância dos satélites para a agricultura, em especial no campo da meteorologia, no uso para a navegação global e dos GPSs,⁵ monitoramento do desmatamento irregular e das cidades, dentre outras.

Destaca-se que o avanço das TIC reflete diretamente na vida das pessoas, pois altera os meios de produção, a educação, a forma como interagimos com outras pessoas e com o ambiente, incluindo o tempo disponível para o lazer. Um reflexo disso pode ser observado no crescimento das redes sociais e da indústria de jogos virtuais. As TIC e a digitalização da economia contribuem por um lado com o empoderamento do cidadão, ao permitir sua maior participação nas decisões de compra e nas do Estado, permite uma maior fiscalização do Estado e das próprias empresas. Por outro, amplifica a possibilidade de ser vigiado e manipulado, visto que sua atuação no mundo digital deixa rastros e essas informações podem ser utilizadas, por exemplo, em processos de engenharia social com foco diverso.

Além das áreas de automação e TIC, um programa espacial pode proporcionar grandes avanços na área de saúde que poderão ser apropriados pela sociedade. Tanto o desafio de viajar no espaço a longas distâncias quanto a sobrevivência em um ambiente hostil exigirá grandes avanços no campo das ciências médicas⁶ que irão gerar *spin-off* para quem vive na Terra. Também serão observados avanços na agricultura e na área de alimentos em geral – como gerar alimentos em um ambiente hostil? Espera-se também grandes avanços na área de energia, seja na produção, distribuição e eficiência energética. Outro campo a ser explorado é o da mineração, incluindo o desenvolvimento e uso de novos

5 GPS – Sistema de posicionamento global.

6 Ciências médicas são as áreas de estudo relacionadas com a vida, a saúde e a doença, e incluem a medicina humana, a biologia, a medicina veterinária, a biomedicina, a enfermagem, a fonoaudiologia, as análises clínicas, a farmácia, a Ciências do Esporte, a educação física, a odontologia, a psicologia, a terapia ocupacional, a nutrição, a fisioterapia e a engenharia biomédica, entre outras.

materiais. O turismo espacial é outra área a ser explorada. Todos esses avanços associados à exploração espacial irão gerar novas profissões, emprego e renda.

Cabe destacar que o processo de automação já saiu do setor industrial e hoje já é utilizado e testado pelo setor de serviços. Hotéis e até bibliotecas ao redor do mundo testam robôs para o atendimento das pessoas, recolhendo bandejas em hotéis e livros em bibliotecas. Eles já estão mais perto da gente do que imaginamos, seja quando realizamos alguma busca na internet, consultamos a Siri, o Google Assistente ou a Alexa, ou utilizamos um robzinho para limpar a nossa casa, que também passa pano.

A impressão 3D sinaliza revolucionar o processo de produção, possibilitando a customização efetiva dos serviços. Imagine você poder ter um sapato produzido que se adequa ao seu pé, pois foi impresso com as cores e *design* que você escolheu e com as medidas exatas do seu pé, que foi escaneado em 3D. Entretanto, a grande revolução virá com a bioimpressão de órgãos e próteses que usam o seu próprio código genético, fabricado, de forma customizada, para você.

Cabe destacar que a bioimpressão é apenas uma parte do que está sendo chamado de biorrevolução. Esse movimento impacta diversas áreas e não somente a saúde, contempla também as áreas de cosmética, alimentos e novos materiais com os avanços da biotecnologia, por exemplo. Os avanços nessa área irão proporcionar um aumento ainda maior na expectativa de vida e alguns cientistas já se arriscam a dizer que poderemos chegar aos 150 anos de expectativa de vida.

Para entendermos o mundo em que vivemos hoje precisamos renunciar às amarras do passado e enxergarmos com clareza para onde ele está sendo conduzido. Tal reflexão deve ocorrer em tempo suficiente para que tenhamos condições de realizarmos os ajustes necessários, visto que o futuro é sempre múltiplo e incerto e está em nossas mãos construí-lo.

Este livro tem por propósito alimentar, com informação a respeito do futuro, os processos de reflexão e de decisão sejam das organizações ou das pessoas. Ele foi estruturado de tal forma que sua leitura pode ser feita por partes. Apesar do resultado das megatendências terem emergido de uma avaliação integrada e sistêmica do ambiente, cada capítulo foi estruturado de forma independente, possibilitando uma leitura não linear.

Nesse contexto, o livro está dividido em seis partes. A primeira refere-se a essa introdução, que apresenta uma síntese do que será tra-

tado no livro e a metodologia utilizada no capítulo 1 e as 12 megatendências identificadas e os respectivos desafios para o desenvolvimento do Brasil no capítulo 2.

Para a condução do levantamento das megatendências mundiais organizou-se o estudo em cinco dimensões: *população e sociedade*, geopolítica, *ciência e tecnologia*, economia e *meio ambiente*. Nesse contexto, as partes que se seguem apresentam as principais sementes de futuro levantadas em cada uma dessas dimensões que foram utilizadas para a identificação das megatendências. Sendo assim, a Parte II apresenta sete capítulos destinados à dimensão *população e sociedade*. Os principais temas tratados são: a dinâmica da população mundial futura, observando a evolução do crescimento populacional, do envelhecimento e dos processos migratórios; os desafios e avanços em andamento no campo da saúde e da educação; o panorama do consumidor do futuro, bem com as cidades do futuro, com destaque para as cidades inteligentes.

O panorama *geopolítico* em que estamos inseridos é apresentado na Parte III e contempla os seguintes temas: governança global, globalização e nacionalismos, emergência de ordem internacional multipolar, rumos do espaço *geopolítico* europeu, Ásia e o deslocamento *geopolítico* para a região Indo-Pacífica.

A seguir, apresenta-se a dimensão *ciência e tecnologia* na Parte IV, que aborda os temas do desenvolvimento tecnológico multidisciplinar, da conectividade e a transformação digital, as transações e segurança cibernética, a automação 4.0, os avanços das tecnologias na fronteira do conhecimento e os novos materiais, bem com a exploração espacial.

A Parte V refere-se à apresentação dos temas associados à dimensão *econômica*, formada pelos capítulos que tratam das mudanças na economia mundial, do setor de energia, agricultura e alimentos e transporte e logística. Já a Parte VI apresenta a dimensão *meio ambiente*, divididas em três capítulos: as mudanças climáticas, a progressiva degradação ambiental e as expectativas de comportamento futuro frente aos desafios ambientais.

Espera-se que essa coletânea de informações sobre o futuro contribua realmente com a reflexão do ambiente atual e com a formulação de estratégias vencedoras para o Estado, para as organizações e para os indivíduos, ou seja, para toda a sociedade brasileira.

1.1 A identificação das megatendências

Para a compreensão de como as megatendências foram identificadas, apresenta-se a seguir, de forma sintética, as etapas seguidas. Destaca-se que a metodologia utilizada para a identificação das megatendências mundiais 2040 foi completamente diferente do estudo realizado para 2030⁷ (Marcial et al., 2015). Esse último foi desenvolvido baseados na opinião de entidades e personalidades internacionais que haviam publicado estudos sobre o futuro. Já o estudo para 2040 foi desenvolvido tomando como base a percepção de *experts* nacionais e internacionais a respeito do futuro (Marcial et al., 2021). Destaca-se que além de verificar se as tendências identificadas para 2030 permaneceriam, também foram levantadas novas tendências⁸ e possíveis rupturas⁹ até 2040.

A partir desse levantamento realizado junto a *experts*, foram identificados os principais temas que emergiram desse levantamento e possíveis sementes de futuro associadas a eles. A partir dos temas e dessas sementes foram convidados alguns pesquisadores, em sua maioria do NEP-UCB, para a realização de um levantamento de dados e fatos por dimensão/tema. Como consequência, muitas das sementes levantadas pelos *experts* foram justificadas e outras identificadas e justificadas, o que deu origem a maior parte dos capítulos deste livro.

Após o levantamento de todas as sementes de futuro justificadas, realizou-se uma oficina com a participação da maioria desses autores para a identificação das megatendências mundiais 2040. Destaca-se que todas as sementes de futuro listadas nesse processo foram utilizadas

7 O primeiro trabalho realizado foi a identificação de megatendências mundiais até 2030, no período 2014-2015, publicado pelo Instituto de Pesquisa *Econômica* e Social (Ipea) (Marcial et al., 2015). Esse estudo pioneiro no Brasil de levantamento das megatendências mundiais foi construído baseado nas visões de muitos estudos de futuro realizados ao redor do mundo. Seus resultados foram utilizados como pano de fundo para a elaboração do estudo Brasil 2035: cenários para o desenvolvimento, publicado e divulgado em 2017 (Marcial et al., 2017).

8 As tendências mostram um padrão importante, representam uma direção geral para condições ou eventos em atividades econômicas, tecnológicas, sociais ou ambientais que influenciam a maneira como as pessoas vivem (Hajkowicz; Moody, 2010, p.2; McGregor, 2012, p.24). Michel Godet (1993) define uma tendência como sendo um evento cuja perspectiva de direção e sentido é suficientemente consolidada e visível para se admitir sua permanência no período futuro considerado.

9 Uma ruptura, nesta pesquisa, representa uma grande mudança provocada por um novo fenômeno que pressiona o equilíbrio existente e o faz romper, sem necessariamente mudar seu paradigma.

para que as principais forças em atuação no ambiente fossem identificadas. Essas megatendências são o resultado de uma análise integrada das sementes de futuro listadas.

Descritas as 12 megatendências, foi realizado levantamento junto a *experts* nacionais com o objetivo de obter-se os principais desafios brasileiros ao desenvolvimento que essas megatendências impõem. Além da listagem gerada de desafios para o desenvolvimento, tal exercício mostra uma das formas de conectar as megatendências à construção de cenários.

Isso porque, os desafios impostos pelas megatendências remetem às grandes incertezas relacionadas à temática, visto que não é possível saber se iremos ou não conseguir superar esses desafios a tempo. O mesmo raciocínio é válido para as oportunidades que as megatendências nos trazem, pois nada garante que teremos condições de aproveitá-las, principalmente quando a janela de oportunidade for pequena.

As projeções ou as previsões não conseguem lidar com as mudanças imprevisíveis que ocorrem a todo tempo, sendo assim dificultam a formulação de estratégias de médio e longo prazo. Já o planejamento por cenários prepara as organizações para os múltiplos futuros potenciais que se apresentam a partir do hoje. Permitem avaliar os efeitos relevantes dos possíveis eventos futuros que os compõem e suas possíveis consequências, possibilitando que as organizações estejam mais bem preparadas para um futuro múltiplo e incerto.

Nesse contexto, o levantamento de megatendências nos ajuda tanto a melhorar a nossa compreensão do ambiente em que estamos inseridos e das forças que vão estar em atuação no futuro, quanto são fonte de identificação das principais incertezas com as quais teremos que lidar. Todos esses são insumos importantes para a construção de cenários consistentes, plausíveis e relevantes que nos possibilitarão decidir e formular estratégias mais robustas.

Referências

Copenhagen Institute for Future Studies (CIFS). Beyond tomorrow: scenarios 2030 the future of product development. Skodsborgvej: Brüel & Kjaer, 2017.

EY – Ernest and Young. Megatrends 2015: Making sense of a world in motion. London: Ernest and Young Global, 2015.

GODET, Michel. Manual de prospectiva estratégica: da antecipação à

ação. Lisboa: Publicações Dom Quichote, 1993.

McGREGOR, S. L. T.; TURKKI, K. (Eds.). *Creating home economics futures: The next 100 years* (pp. 195-206). Queensland, Australia: Australian Academic Press, 2012.

HAIKOWICZ, S.A., COOK, H., LITTLEBOY A. *Our Future World: Global megatrends that will change the way we live. The 2012 Revision*. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization CSIRO, Australia, 2012.

HAIKOWICZ, Stefan; MOODY, James. *Our Future World: An analysis of global trends, shocks and scenarios* Compiled. North Ryde: CSIRO, 2010.

HANSEN, Klaus Georg; RASMUSSEN, Rasmus Ole; OLSEN, Lise Smed; TOTO, Johanna; FREDRICSSON, Christian. *Megatrends in the Arctic - New inspiration into current policy strategies Report*. Nordic Council of Ministers' seminar. NORDREGIO WORKING PAPER 2012:8. Stockholm: Nordregio, May 2012.

KPMG International. *Expect the unexpected: Building business value in a changing world*. Melbourne: KPMG Global Centre of Excellence for Climate Change and Sustainability, 2012.

Marcial, E. C.; Pio, M.; Leal, R. M.; Françaço, M. A. S. *Megatendências mundiais 2040: resultados preliminares da pesquisa*. – Brasília, DF: Universidade Católica de Brasília, 2021. – (Relatório técnico-científico – RTC-UCB ; n. 1). DOI: 10.13140/RG.2.2.18642.63682.

MARCIAL, E.C. et al. *Megatendências mundiais 2030: o que entidades e personalidades internacionais pensam sobre o futuro do mundo?* Brasília: Ipea, 2015.

MARCIAL, Elaine C. et al. *Brasil 2035: cenários para o desenvolvimento*. Brasília: Ipea/Assecor, 2017. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/170606_brasil_2035_cenarios_para_desenvolvimento.PDF. Acesso em 20 set. 2022.

McGREGOR, S. L. T. (2012). *Bringing a life-centric perspective to influential megatrends*. In Pendergast, D., McGregor, S. L. T., & Turkki, K. (Eds.), *Creating home economics futures: The next 100 years* p. 24-37). Queensland, Australia: Australian Academic Press.

NAISBITT, John Naisbitt. *Megatrends: Ten New Directions Transforming Our Lives*. New York: Warner Books, 1982.

NIC – NATIONAL INTELLIGENCE COUNCIL. *Global trends 2035: PARADOX OF PROGRESS*. Washington: NIC, 2017. Disponível em: <https://www.dni.gov/files/documents/nic/GT-Full-Report.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2017.

ÖNER et al. Megatrends as perceived in Turkey in comparison to Austria and Germany. *Technological Forecasting & Social Change*, 74 (2007), p.538-557.

PWC. *Five Megatrends and Their Implications for Global Defense & Security*. New York: PWC Global, Nov. 2016.

Capítulo 2

As megatendências mundiais 2040

Elaine C. Marcial¹

¹ Elaine C. Marcial, Doutorado em Ciência da Informação, especialista em estudos de futuro e inteligência competitiva, Professora do Mestrado na Universidade Católica de Brasília (UCB) e Coordenadora do Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos na Universidade Católica de Brasília (NEP-UCB).

As megatendências mundiais 2040

As megatendências mundiais 2040 apresentadas neste capítulo representam o resultado do estudo conduzido pelo Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos da Universidade Católica de Brasília (NEP-UCB¹), coordenado pela Dra. Elaine C. Marcial. O estudo foi realizado no período de 2021-2022.

Foram identificadas 12 grandes forças em atuação no ambiente que impactarão os negócios, a economia, a sociedade, o *meio ambiente*, a cultura e os indivíduos. Elas têm potencial de transformar a sociedade – dos indivíduos e atores locais para estruturas globais – mudando a forma de viver e pensar das pessoas nas próximas décadas.

As megatendências identificadas foram:

1. Envelhecimento populacional.
2. Diversidade cultural.
3. Empoderamento dos cidadãos.
4. Disputas por recursos naturais, em especial água, alimentos e fontes energéticas.
5. Expansão da exploração espacial.
6. Novos materiais estratégicos impactando o setor econômico.
7. Hiperconectividade.
8. Transformação digital, virtualização e difusão da Internet das Coisas.
9. Automação inteligente: robótica, inteligência artificial, impressora 3D e *drones*.
10. Biorrevolução.
11. Eventos climáticos extremos.
12. Transição para economia de baixo carbono.

1 Equipe de pesquisadores do Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos da Universidade Católica de Brasília (NEP-UCB) envolvidos na pesquisa: Elaine C. Marcial (coordenadora da pesquisa); Marcello Pio; Márcio Gimene; Marcos Françoze; Ariel Pares; Livia Abreu Torres; Thomaz Fronzaglia; José Henrique A. C. da Silva; Mário Andrade Filho.

Essas megatendências são o resultados do levantamento realizado entre julho e agosto de 2021, com o uso da Plataforma SocialPort, junto a 245 *experts* nacionais e internacionais, representando um total de 434 tendências e 343 rupturas possíveis de ocorrência até 2040 (Marcial et al., 2021).

Essas sementes de futuro foram analisadas de forma integrada, resultando nas 12 megatendências apresentadas a seguir.

2.1 Síntese das megatendências

A apresenta-se uma síntese de cada uma das megatendências geradas. As informações levantadas que justificam as sementes de futuro que geraram essas megatendências estão apresentadas nos capítulos que compõem as cinco partes deste livro.

Envelhecimento populacional – O envelhecimento da população mundial está associado ao aumento da expectativa de vida e à queda dos níveis de fertilidade (redução da taxa de fecundidade). Segundo a Organização das Nações Unidas, a taxa de fertilidade mundial caiu de 3,2 em 1990 para 2,5 em 2019. No Brasil, a taxa de fecundidade hoje é de 1,72 nascimentos por mulher. Quanto ao aumento da expectativa de vida, segundo dados do Banco Mundial, a população mundial apresentou crescimento significativo de sua expectativa de vida ao nascer, saindo de 65 anos em 1990 para 73 em 2020. O Brasil apresenta expectativa de vida de 76,57 anos de vida ao nascer. Os desafios associados a esta megatendência são muitos visto que essa força impacta diretamente o mercado de trabalho, a seguridade e o estado de bem-estar social. Entretanto, uma reflexão profunda desse evento demográfico não tem sido realizada. Destaca-se que movimentos demográficos são lentos, mas consistentes e de difícil reversão.

Diversidade cultural – A diversidade cultural sempre existiu no mundo. A população mundial é formada por diferentes culturas, línguas, culinária, tradições e religiões. Entretanto, cada localidade possui uma identidade cultural, o que caracterizava seu povo. Com o avanço da globalização, da conectividade e dos movimentos migratórios mundiais, essa diversidade cultural passou a ser mais difundida. Esses movimentos geram uma maior absorção cultural pelas diversas identidades culturais, que passam a apresentar características mais globais. Se por outro lado, há uma valorização da identidade local e da cultura regional, por

outro, surgem focos de resistência caracterizados por baixa tolerância entre os diferentes modos de pensar e agir.

Empoderamento dos cidadãos – O crescimento da classe média mundial nas últimas décadas, os avanços na educação e o acesso às tecnologias digitais e de comunicação fizeram com que mais pessoas adquirissem controle sobre sua própria existência, poder para questionar e interferir em ações e decisões do Estado (no Brasil, são exemplos o portal da transparência e as audiências pública), e autonomia pessoal, resultando no empoderamento dos cidadãos. Avanços na opressão da discriminação também foram observados e tendem a se manter nos próximos anos, dando mais voz e empoderamento a segmentos da população denominados de “minoritários”. Mesmo após a pandemia do COVID-19 e outras crises, que freou o crescimento da classe média mundial, observa-se a manutenção dessa força em todo o mundo.

Disputas por recursos naturais, em especial água, alimentos e fontes energéticas – Espera-se um crescimento da demanda por recursos naturais em todo o mundo. Tal movimento está associado à manutenção do crescimento da população, mesmo em taxas marginais decrescentes, e ao crescimento da classe média mundial, mesmo que mais lento, impulsionado pelo avanço de países em desenvolvimento. Destaca-se que os recursos naturais que deverão ser mais demandados são água, alimentos e fontes energéticas, acirrando as disputas por esses recursos. Esse acirramento deverá ser observado tanto dentro de um país quanto entre países, podendo resultar inclusive em conflitos armados.

Expansão da exploração espacial – O espaço sideral caracteriza-se como a nova fronteira a ser conquistada. A corrida espacial, que teve início na década passada, apresenta um perfil diferente das décadas de 1950-1960, envolvendo tanto investimentos públicos quanto privados, além de consideráveis implicações geopolíticas. Nesse contexto, são esperados maior dinamismo e evolução mais rápida, resultando no aumento do desenvolvimento tecnológico aeroespacial com significativo *spin-off* para a humanidade. Espera-se o crescimento do turismo espacial suborbital, da produção de minissatélites, da manufatura espacial avançada, do uso de tecnologias de propulsão inteligente, da robótica espacial e do gerenciamento de tráfego espacial. Também é esperado o início da mineração na Lua e em asteroides.

Hiperconectividade – A hiperconectividade representa o estado de disponibilidade de um indivíduo de se comunicar, a qualquer momento, seja por meio de redes sociais, telefone ou em reuniões remotas, por exemplo. Esse estado ocorre quando não se consegue ficar sem olhar o celular ou se sente necessidade de acessar as redes sociais sem que haja motivo real. Com o avanço da conectividade homem-objeto e objeto-objeto, impulsionado pelo avanço da Internet das Coisas (IoT), a hiperconectividade tenderá a aumentar ainda mais, transferindo esse fenômeno para as coisas, como carros, eletrodomésticos, acessórios, roupas, dentre outros objetos conectados, trocando informações entre si. Essa força transformará a produção diária de dados em um evento exponencial nunca visto.

Transformação digital, virtualização e Internet das Coisas – O mundo está cada vez mais digital e virtual, seja pelo avanço da digitalização, da internet, das redes sociais e do *streams*, ou pela chegada do metaverso. Será observado um crescimento do uso e aplicações da realidade aumentada em diversas áreas. A transformação digital impacta a sociedade na forma de pensar, comunicar e trabalhar e gera a desmaterialização dos bens. Fotos, vídeos e músicas tornaram-se invisíveis e imateriais, estando disponíveis somente quando necessitamos. Objetos se tornaram digitais como o carro, aparelhos eletrônicos, e produtos da linha branca. A Internet das Coisas e sua vertente industrial fortalecerão esse ambiente. O barateamento dos sensores facilitará a proliferação de dispositivos conectados, chegando a 25,44 bilhões em 2030. Crescerá a competição entre os mundos real e digital, podendo resultar na fusão dessas tecnologias com o ser humano.

Automação inteligente: robótica, inteligência artificial, impressora 3D e drones – Os processos de automação serão ampliados e dotados de maior complexidade tecnológica. Haverá crescimento dos investimentos tanto em pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) quanto para o lançamento de novos produtos que revolucionarão diversas áreas com o avanço da robótica, da inteligência artificial (IA), das impressoras 3D e do uso de *drones*. Crescem os incentivos, por parte de países desenvolvidos, voltados para o desenvolvimento e uso de tecnologias mais complexas de automação, como investimentos em infraestrutura e benefícios fiscais para facilitar sua adoção e uso pelas empresas. No campo da robótica, deixa de ter o uso restrito do setor industrial e passa a ocupar cada vez mais espaço no setor de serviços, em especial quando

associado a IA e a IoT. Estima-se que o mercado global da indústria 4.0 pode alcançar valores superiores a US\$ 200 bilhões até 2025. Essa área apresentará impulso ainda maior com o avanço da nova corrida espacial.

Novos materiais estratégicos impactando o setor econômico – Espera-se inovações disruptivas no campo dos novos materiais com o desenvolvimento de novas ligas metálicas, de metais sustentáveis, de materiais para energias renováveis, para micro e nano robôs aplicados na área médica e para poliméricos leves sustentáveis. Materiais como o carbono, o grafeno e o titânio liderarão essa revolução. A adoção da inteligência artificial, aprendizado de máquina e *big data* serão os novos drivers que nortearão a pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD & I) desta área. São esperados avanços nos campos da bio e nanotecnologia, desde o desenvolvimento de órgãos artificiais, de técnicas de biofabricação para a produção de produtos médicos, biomateriais (parafusos, próteses e implantes), alimentos e bebidas, ao desenvolvimento de nanomateriais para a confecção de produtos farmacêuticos, cosméticos, tintas, na área têxtil, em equipamentos desportivos, na eletrônica e em painéis solares. A biologia sintética¹ estará em alta, com destaques para avanços na engenharia metabólica, na síntese de DNA, no genoma mínimo,² na xenobiologia³ e na protocélulas (células sintéticas).

Biorrevolução – A biorrevolução é fruto do desenvolvimento acelerado e da convergência das tecnologias da informação e comunicação, da biotecnologia, da biologia sintética, da edição de genes, do desenvolvimento de biomoléculas, da genômica e da fenômica vegetal e animal. Transformará o cultivo de alimentos, com aumento da produtividade e redução do uso de fertilizantes sintéticos, bem como a produção de proteínas à base de vegetais e o cultivo de células. Será fonte de materiais, medicamentos e cosméticos e proporcionará o uso de biossensores na-

1 Biologia sintética refere-se à integração de diferentes áreas da pesquisa (química, biologia, engenharia, física ou ciência da computação) com a construção de novos componentes biológicos, envolvendo também o *re-design* de sistemas biológicos naturais que já existem. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/biologia-sintetica/>. Acesso em: 20/12/2022.

2 Um genoma mínimo representa o menor conjunto de genes que permite a reprodução de um organismo em determinado ambiente.

3 Xenobiologia trata do estudo de organismos não encontrados na natureza, logo desconhecidos pela ciência, abrangendo a síntese e a manipulação de sistemas e dispositivos biológicos. Está intimamente ligado à biologia sintética (Marlière, 2011).

noestruturados e sistemas ciberfísicos,⁴ que crescerão nos próximos anos. Envolve também o desenvolvimento da medicina baseada em células tronco. Isso porque se utilizará da genômica e melhoramento de precisão, gerando uma série de inovações, como por exemplo em microbioma de plantas e animais para a sustentabilidade no agro.

Eventos climáticos extremos – Espera-se o crescimento da ocorrência de eventos climáticos extremos em todo o mundo. Esses eventos já afetam o funcionamento de comunidades, causando danos ambientais, materiais e econômicos, e prejudicando a saúde da população. Espera-se que se tornem mais frequentes e intensos, com potencial de gerar devastação por: estiagem e seca, resultando em queimadas e incêndios florestais; excesso de chuvas, resultando em inundações; tempestades com raios, ciclones tropicais e extratropicais, tornados e vendavais; bem como chuvas de granizo, geadas e ondas de frio e de calor.

Transição para economia de baixo carbono – Representa o surgimento de um novo sistema econômico focado na redução do impacto no *meio ambiente*, pela redução ou eliminação da emissão de gases de efeito estufa. Seu conceito está ligado à agenda ESG (*Environmental, Social and Governance*) – um conjunto de critérios que indicam o grau de preocupação e comprometimento de uma empresa com temas ligados a esses pilares. Crescem os investimentos nessa agenda, em especial os voltados para inovação, inclusive disruptivas, associadas a transição energética, com a produção e uso de energias renováveis e limpas; a economia circular; a preservação, reflorestamento e sequestro de carbono; e a evolução e consolidação de um mercado de carbono.

Essas megatendências já estão moldando o mundo em que vivemos e vão revolucionar o futuro, pois abrirão as portas para diversas rupturas e disrupturas. Apesar de descritas separadamente, elas estão inter relacionadas, uma influenciando e amplificando o comportamento

4 Os sistemas ciber físicos (ou CPS, na sigla em inglês para Cyber-Physical Systems) são integrações que envolvem computação, comunicação e controle por meio do uso de redes e processos físicos, proporcionando às empresas a oportunidade de representar a realidade do mundo físico em ambientes digitais. Esses sistemas propiciam a realização de simulações, testes, predições de desgastes, entre muitas outras possibilidades que a tecnologia oferece. Isso pode representar ganhos expressivos de competitividade para o negócio. Disponível em: <https://certi.org.br/blog/sistemas-ciber-fisicos/>. Acesso em 29/12/2022.

da outra. Elas também ampliarão a complexidade ambiental e suscitam várias incertezas.

As megatendências trazem várias oportunidades que teremos que estar atentos e preparados para aproveitá-las, mas também trazem desafios profundos que teremos inclusive que ajustar nossos modelos mentais para poder enfrentá-los. Até mesmo para enxergar os desafios e oportunidades que elas apresentam teremos que ajustar nossos modelos mentais, isso porque as mudanças em andamento são grandes e ainda estamos presos ao mundo passado. Para enxergar com clareza termos que ser capazes de abrir mãos dessas amarras.

2.2 Os desafios das megatendências no desenvolvimento do Brasil

As megatendências são fontes de informação estratégica. Sua análise criteriosa contribui com o entendimento do mundo à nossa volta, mostra quais são as principais forças em atuação no ambiente que precisamos nos ajustar, mas também aponta os desafios que teremos que enfrentar para atingir nossos objetivos. Elas também são fonte de levantamento de incertezas que poderão alimentar processos de planejamento por cenários. Isso porque, para cada desafio levantado, não se pode saber de antemão se iremos conseguir superá-los ou não.

Nesse contexto, realizou-se mais um levantamento, utilizando a Plataforma SocialPort em setembro de 2021, junto a *experts* brasileiros que participaram da pesquisa de levantamento das sementes de futuro, para identificar quais os desafios para o desenvolvimento do Brasil que cada uma dessas megatendências levantadas apresentava. Os resultados foram tratados e são apresentados a seguir.

Ao todo foram levantados 1.049 desafios para o desenvolvimento do Brasil, conforme mostrado na Tabela 2.1. Destaca-se que, de todas as megatendências a que apresenta mais desafios é a megatendências de “Envelhecimento da população”, seguida por “Eventos climáticos extremos”, “Novos materiais estratégicos impactando o setor econômico”, “Expansão da exploração espacial” e “Transformação digital, virtualização e difusão da Internet das Coisas” (Marcial, 2022).

Com base nesse material levantado, foi realizada uma análise integrada desses desafios, resultando em oito grandes desafios para o desenvolvimento do Brasil impostos pelas megatendências mundiais identificadas. Destaca-se a importância desse levantamento visto que forças que estão em atuação no mundo impactam diretamente qualquer país e o Brasil não está isento de sofrer os impactos dessas megaten-

dências.

Tabela 2.1 – Quantidade de desafios ao desenvolvimento brasileiro apresentados pelas megatendências

Megatendências	QTD Desafios
Envelhecimento populacional	116
Diversidade cultural	81
Empoderamento dos cidadãos	60
Disputas por recursos naturais, em especial água, alimentos e fontes energéticas	86
Expansão da exploração espacial	89
Novos materiais estratégicos impactando o setor econômico	90
Hiperconectividade	87
Transformação digital, virtualização e difusão da Internet das Coisas	89
Automação inteligente: robótica, inteligência artificial, impressora 3D e <i>drones</i>	86
Biorrevolução	88
Eventos climáticos extremos	91
Transição para economia de baixo carbono	86
Total	1.049

Fonte: Elaboração da Autora (Marcial, 2022).

Apresenta-se, a seguir, os oito principais desafios identificados, que o Brasil deverá realizar investimentos para superá-los, caso o país deseje alcançar um novo patamar de desenvolvimento até 2040.

1. Garantir a soberania Nacional.
2. Desenvolver e ofertar as competências na população brasileira exigidas pelo mercado interno.
3. Garantir a existência de uma infraestrutura *econômica* para a plena exploração do potencial brasileiro e desenvolvimento do país (infraestrutura de transportes e logística, de energia e de telecomunicações).
 - a. Prover infraestrutura de conectividade em alta velocidade para to-

- dos em todo o território nacional (campo e cidades).
- b. Garantir o fornecimento de energia em abundância e de baixo custo, baseada em uma matriz energética de fontes renováveis.
 - c. Garantir a segurança hídrica brasileira.
4. Propiciar um ambiente de negócio brasileiro competitivo.
 5. Fortalecer o parque industrial e de serviços brasileiro, em especial os de alta tecnologia.
 - a. Reduzir significativamente o *gap* tecnológico existente entre o Brasil e os países desenvolvidos.
 - b. **Fortalecer o programa espacial brasileiro.**
 - c. Promover a **gestão dos bens minerais e biológicos brasileiros**, de forma soberana, em especial os encontrados na Amazônia, agregando valor a esses recursos naturais.
 - d. Promover o desenvolvimento de novos materiais com tecnologia brasileira, focado na promoção do desenvolvimento brasileiro.
 6. Ofertar serviços públicos e políticas públicas mais eficientes, responsivas e justas.
 - a. Prover soluções para os problemas sociais gerados pelo avanço da tecnologia, em especial a automação e a uberização da economia.
 - b. **Promover maior participação popular na política e nas decisões de Estado**, definindo os limites entre regulação social e liberdades individuais.
 - c. Manter **equilíbrio financeiro da seguridade social** (saúde, previdência, e assistência social) frente ao envelhecimento da população.
 - d. **Desenvolver capacidade de atendimento à demanda crescente de atendimento à saúde**, em especial da população mais velha.
 - e. Promover a melhoria da qualidade de vida do idoso.
 7. Transformar em oportunidade a diversidade cultural brasileira, em prol do desenvolvimento nacional.
 8. Garantir a prevenção e a mitigação dos riscos climáticos e ambientais.
 - a. Promover a adoção de uma agenda ESG, sem comprometer os interesses nacionais e orientada para o desenvolvimento do Brasil – geração de emprego e renda.

O desafio “**Garantir a soberania Nacional**” engloba desafios como a necessidade de evitar a interferência externa nos projetos brasileiros, em especial advindas do *greenwashing*. Essa temática apresenta relação com outros dois desafios apontados pelos *experts*, como a exis-

tência de grande cobiça internacional pelos recursos naturais brasileiros, o que deve ser contraposto, bem como a necessidade de se impor frente às pressões internacionais, em especial as voltadas para a internacionalização da Amazônia.

Outro ponto que merece destaque, ainda associado à garantia da soberania Nacional, apontado pelos *experts* com um desafio, refere-se à necessidade de gerenciamento de planos de contingência frente a restrições, barreiras não tributárias e sanções internacionais, em especial sob o guarda-chuva ambiental.

“Desenvolver e ofertar as competências na população brasileira exigidas pelo mercado interno” é o desafio mais transversal. Ele é citado como desafio a ser enfrentado para suportar todas as 12 megatendências, destacando-se assim como o desafio mais importante a ser vencido pelo Brasil se almeja se tornar um país desenvolvido.

Garantir uma educação básica e técnica de qualidade, exigindo desempenho dos estudantes e dos professores é um dos desafios vinculados a esse maior. Outro muito citado refere-se à implantação de programas que incentivem os jovens na carreira STEM (*science, technology, engineering and mathematics*) e na proficiência em língua inglesa.

Promover educação continuada, incentivando a alfabetização digital e informacional e a reciclagem para a 3ª idade, e desenvolver e reter talentos, em especial nas áreas definidas como estratégicas, representam outros dois desafios associados a essa temática.

Outro grande desafio ao desenvolvimento brasileiro refere-se a desenvolver a capacidade de **“Garantir a existência de uma infraestrutura econômica para a plena exploração do potencial brasileiro e desenvolvimento do país (infraestrutura de transportes e logística, de energia, de telecomunicações e hídrica)”**.

Segundo os *experts*, três áreas se destacam como prioritárias quando o foco é o desenvolvimento dessa infraestrutura econômica: conectividade em alta velocidade, energia em abundância e de baixo custo e segurança hídrica.

Quanto à necessidade promoção de uma infraestrutura de conectividade em alta velocidade para todos em todo o território nacional (campo e cidades), desafios como democratizar o acesso à internet, desenvolver uma infraestrutura de IoT (Internet das Coisas) e seu uso em alta velocidade, garantir investimentos em infraestrutura, na rede de telecomunicações e no lançamento e uso de satélites brasileiros são exemplos muito citados.

Outro desafio muito citado refere-se ao investimento no desenvolvimento científico e tecnológico e na formação e retenção de talentos na área. Destaque também para a necessidade de desenvolvimento de uma cadeia de fornecedores de insumos para o desenvolvimento de infraestrutura de conectividade, bem como de fortalecer a defesa cibernética.

Garantir o fornecimento de energia em abundância e de baixo custo, baseada em uma matriz energética de fontes renováveis é um desafio que engloba outros como a necessidade do desenvolvimento de cadeia de fornecedores de insumos voltados para a produção de energia, de desenvolver combustíveis sintéticos a partir de biomassa e do hidrogênio e promover o protagonismo na produção de hidrogênio verde e de energia nuclear.

Outros desafios são reduzir o desperdício e investir em eficiência energética e em *smart grid*, investir no desenvolvimento científico e tecnológico e na formação de talentos na área, bem como sua retenção.

Para garantir a segurança hídrica brasileira, outros desafios se apresentam, como a necessidade de formulação e implementação de políticas associadas ao gerenciamento dos usos múltiplos da água, promover o reflorestamento da margem ciliar e das nascentes dos rios, o tratamento, reuso e redução do desperdício de água e ações educacionais do uso sustentável da água e dos recursos hídricos. Investir na dessalinização da água do mar e seu transporte para as regiões mais interioranas seria outro desafio a ser superado.

“Propiciar um ambiente de negócio brasileiro competitivo” é outro desafio que os *experts* apresentam que possuem outros desafios atrelados como a necessidade de desburocratizar o Estado, tornando-o eficiente, garantir segurança jurídica e adotar uma legislação trabalhista adaptada à nova realidade. Também são destacadas as necessidades de manter a taxa de juros baixa e promover o financiamento produtivo e a inflação sob controle.

Quanto a **“Fortalecer o parque industrial e de serviços brasileiro, em especial os de alta tecnologia”** engloba os desafios de: (1) reduzir significativamente o *gap* tecnológico existente entre o Brasil e os países desenvolvidos; (2) promover a modernização dos setores industriais e de serviços brasileiro, adaptando-os para a 4ª revolução industrial (indústria 4.0 e serviços 4.0); (3) incentivar e promover a ampliação de investimentos em eficiência e aumento de produtividade nos setores industrial e de serviços, tornando-os mundialmente competitivos; (4) **fortalecer o programa espacial brasileiro**; (5) promover o

desenvolvimento de novos materiais com tecnologia brasileira, focado na promoção do desenvolvimento brasileiro; e (6) promover a **gestão dos bens minerais e biológicos brasileiros**, de forma soberana, em especial os encontrados na Amazônia, agregando valor a esses recursos naturais.

No que diz respeito a **redução do gap tecnológico**, outros desafios se impõem segundo a opinião dos *experts*, como a necessidade de desenvolver e fortalecer o ecossistema de inovação brasileiro, em especial para as áreas definidas como estratégicas para o país, a implementação de programas de indução da inovação e da difusão tecnológica para as tecnologias consideradas estratégicas para o país. O fortalecimento dos pólos tecnológicos brasileiros priorizados e as instituições e institutos de pesquisa brasileiros configura-se como outro desafio, bem como a formulação de políticas públicas voltadas para a adoção da tríplice hélice na promoção da inovação tecnológica (parceria empresa, universidade/centro de pesquisa e governo).

Fomentar a entrada de empresas brasileiras e institutos de pesquisa em redes internacionais de inovação, fortalecer os parques tecnológicos, atuando no formato de tríplice hélice, bem como da participação em consórcios entre países nas novas fronteiras do conhecimento, bem com garantir investimentos perenes para a CT&I para o desenvolvimento de tecnologias estratégicas, como por exemplo: automação (Robótica, IA, *drones*, impressora 3D), novos materiais, energia, biotech (alimentícia, farmacêutica, insumos agrícolas, cosméticos etc.), microeletrônica e semicondutores, satélites e veículos lançadores, *software*).

Outros desafios referem-se à promoção da formação e retenção de pesquisadores no país. Promover o investimento em pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD & I) e dinamizar o mercado de patentes brasileiro configuram-se também como desafios, bem como garantir ao Brasil o status de “parceiro relevante” junto a países líderes em desenvolvimento tecnológico nos setores priorizados como estratégicos.

Quanto ao desafio de **fortalecer o programa espacial brasileiro**, formulando e implementando estratégias de longo prazo e promovendo parcerias público-privada, inclusive internacionais, para o desenvolvimento do setor espacial brasileiro, trata-se de outro tema relevante em relação ao momento atual. A busca de cooperação internacional, a exemplo da parceria no projeto Artemis da Nasa é outro desafio apontado, bem como tornar as bases de Alcântara (MA) e Barreira do Inferno (RN) as principais bases de lançamento de foguetes e veículos aeroes-

paciais da Terra.

Destaca-se também o desafio de tornar o Brasil autossuficiente na produção e lançamento de satélites e foguetes, ampliando a rede de satélites nacionais em órbita, bem como buscar gerar riqueza advinda da exploração espacial (promoção de *spin-off* dos investimentos no programa espacial brasileiro a exemplo da Nasa) e no desenvolvendo uma cadeia de fornecedores de insumos voltados para o setor aeroespacial.

Outros desafios importantes para o sucesso do programa espacial brasileiro são o investimento na formação de talentos no campo aeroespacial e sua retenção, na formação e retenção de pesquisadores no país e no desenvolvimento científico e tecnológico da área.

Focando no desafio associado aos **novos materiais com tecnologia brasileira**, destaca-se a priorização da pesquisa no campo dos materiais estratégicos como nióbio e grafeno, o desenvolvendo ligas finas, flexíveis e resistentes, a promoção da cooperação internacional para o desenvolvimento de novos materiais, a garantia dos investimentos permanentes em bio e nanotecnologia e a facilitação do escalonamento de bioprodutos para a exportação, tornando relevante a utilização de bioinsumos no agronegócio tanto na linha de fertilizantes quanto de defensivos agrícolas.

Quanto ao desafio associado à **gestão dos bens minerais e biológicos brasileiros**, destaca-se a necessidade de foco no manejo de jazidas minerais existentes no país, no fortalecimento e na disposição de infraestrutura de monitoramento e de defesa territorial para evitar a evasão de recursos naturais – conter a biopirataria e a exploração irregular, regulando a extração mineral e biológica, promovendo a exploração *econômica* sustentável dos recursos naturais, em especial da biodiversidade brasileira, contrapondo a narrativa internacional de que o Brasil não respeita o *meio ambiente*, promovendo a formação e retenção de pesquisadores no país nos setores minerais e de biotech, garantindo os investimentos permanentes em biotecnologia, transformando a Amazônia na nova fronteira *econômica* do país, por meio do desenvolvimento da exploração sustentável de seus recursos naturais, em especial os associados a bioeconomia e aproveitando a biodiversidade brasileira na geração de produtos e serviços de alto valor agregado.

Quanto ao desafio **“Ofertar serviços públicos e políticas públicas mais eficientes, responsivas e justas, garantindo oportunidades iguais para todos, incluindo acesso à educação, à saúde, à segurança, à informação etc. e um tratamento isonômico a todos os cidadãos brasileiros”**, destaca-se os desafios de manter **equilíbrio**

financeiro da seguridade social (saúde, previdência, e assistência social) frente ao envelhecimento da população; **desenvolver capacidade de atendimento à demanda crescente de atendimento à saúde**, em especial da população mais velha; promover a melhoria da qualidade de vida do idoso; prover soluções para os problemas sociais gerados pelo avanço da tecnologia, em especial a automação e uberização da economia; e **promover maior participação popular na política e nas decisões de Estado**, definindo os limites entre regulação social e liberdades individuais.

Quanto ao desafio de manter o **equilíbrio financeiro da seguridade social** (saúde, previdência, e assistência social) frente ao envelhecimento da população, destaca-se os seguintes desafios específicos: formular e promover as políticas públicas de incentivo ao aumento da taxa de natalidade; gerir, de forma eficiente, os recursos da seguridade social; propor um novo modelo de seguridade social adequado a realidade atual e futura; formular e implementar uma política públicas voltadas para estimular a imigração em prol do desenvolvimento do país, aumentando a arrecadação e dinamizando a economia.

Já o desafio de **desenvolver capacidade de atendimento à demanda crescente de atendimento à saúde**, em especial da população mais velha, destaca-se o investimento na previsão de doenças, em especial as crônicas, nas práticas de esportes, inclusive comunitárias e para a terceira idade, em espaços comunitários de lazer e convivência, em especial para o idoso, em programas para a redução do stress e da ansiedade, no acesso ao saneamento básico e em PD&I e no desenvolvimento de competência na área de saúde.

Associado à promoção da melhoria da qualidade de vida do idoso, temos como desafio **garantir e manter uma renda mínima para o idoso**, ofertando serviços de proteção, cuidado e assistência ao idoso, prevenindo as doenças crônicas do envelhecimento, como a doença de Alzheimer, demência, mal de Parkinson, depressão etc., bem como incentivando e desenvolvendo políticas públicas para o aproveitamento da mão de obra longa em postos de trabalho adaptados.

Quanto ao desafio de **prover soluções para os problemas sociais gerados pelo avanço da tecnologia, em especial a automação e uberização da economia**, destaca-se os desafios específicos como normatizar o uso e desenvolvimento da IA, promover a capacitação/reciclagem da mão de obra que ficará desempregada com o avanço da automação, remodelar as Leis trabalhistas para a realidade atual e futura, proporcionar a renda básica universal sem retirada da dignidade

humana e reinventar a relação trabalho emprego.

Por fim, quanto ao desafio de **promover maior participação popular na política e nas decisões de Estado**, definindo os limites entre regulação social e liberdades individuais, destaca-se os desafios específicos como tornar a voz dos cidadãos mais relevantes nas decisões sobre políticas públicas, deixar claros os direitos e deveres dos cidadãos, ampliar o acesso da população à informação – transparência e prestação de contas (*accountability*) e possibilitar que o cidadão gereencie todos os seus dados, garantindo a privacidade definida por ele.

O penúltimo desafio listado, “**Transformar e oportunizar a diversidade cultural brasileira, em prol do desenvolvimento nacional**”, traz em seus bojos os desafios específicos de promover as políticas públicas que atendam a diversidade cultural, com respeito à diferenças, a liberdade e a independência dos povos que interagem em território nacional; direcionar a transformação digital para a promoção da igualdade, liberdade e desenvolvimento pessoal; educar a população para conviver respeitosamente com a diversidade, seja ela cultural, religiosa, política etc., observando os direitos civis, morais e o civismo; e manter a coesão nacional.

Por fim, “**Garantir a prevenção e a mitigação dos riscos climáticos e ambientais**” é o último grande desafio identificado que evoca os seguintes desafios específicos: melhorar a capacidade de realização de estudos climáticos; fortalecer o sistema de monitoramento ambiental, gestão de riscos e alertas de desastres ambientais, baseados em sistemas preditivos; melhorar o sistema de defesa civil; atrair investimentos internacionais para a área ambiental e mitigação de riscos ambientais; promover a drenagem inteligente das águas das chuvas e reflorestamento como medida preventiva; buscar parceria público-privada, inclusive internacional.

Promover a adoção de uma agenda ESG, sem comprometer os interesses nacionais e orientada para o desenvolvimento do Brasil – geração de emprego e renda também se configura como um desafio específico associado a prevenção e a mitigação dos riscos climáticos e ambientais levantam a necessidade de incentivar a economia circular e compartilhada; promover a consciência e o engajamento em ações de responsabilidade socioambiental e a transição para uma indústria e serviços de baixo carbono; bem como gerar riqueza a partir do maior protagonismo brasileiro na área da economia de baixo carbono.

Referência

Marcial, E. C.; Pio, M.; Leal, R. M.; Françoço, M. A. S. Megatendências mundiais 2040: resultados preliminares da pesquisa. Brasília, DF: Universidade Católica de Brasília, 2021. – (Relatório técnico-científico – RTC-UCB ; n. 1). DOI: 10.13140/RG.2.2.18642.63682.

Marcial, E. C. Megatendências mundiais 2040 e desafios ao desenvolvimento do Brasil. Brasília, DF: Universidade Católica de Brasília, 2021. – (Relatório técnico-científico – RTC-UCB).

Marlière, P., Patrouix, J., Döring, V., Herdewijn, P., Tricot, S., Cruveiller, S., Bouzon, M. and Mutzel, R. (2011). Chemical Evolution of a Bacterium's Genome. *Angewandte Chemie International Edition*, 50: n/a. doi: 10.1002/anie.201100535.

Parte II – *População e Sociedade*

Por Elaine C. Marcial¹ e Marcello Pio²

População e Sociedade é a primeira dimensão destacada. As megatendências extraídas a partir dela estão interligadas com as demais dimensões, quais sejam, Geopolítica, *Ciência e Tecnologia*, Economia e *Meio Ambiente*, dado que vários aspectos nelas abordados partem da dinâmica demográfica.

Ao todo, foram levantadas 34 sementes de futuro associadas aos seguintes temas: dinâmica populacional, saúde, educação, consumidor, mercado de trabalho e cidades.

As dinâmicas populacionais são elementos importantes na construção do futuro. Em geral, referem-se a movimentos lentos, mas com grande potencial de moldar o futuro. Elas impactam as políticas públicas, o destino das tecnologias emergentes, o processo de produção e consumo e o *meio ambiente*. Também são influenciadas por elas, retroalimentando todo o sistema.

As decisões das organizações e do Estado devem sempre observar as dinâmicas populacionais e os movimentos que ocorrem na sociedade em geral. Não estar conectado com essas mudanças em andamento podem colocar em risco qualquer estratégia.

Nesse contexto, esta parte do livro contempla a avaliação futura das dinâmicas populacionais, em especial o crescimento populacional, o envelhecimento da população e os processos migratórios. A atenção a esses fatores é a chave no campo da formulação de estratégias públicas e privadas, pois elas afetam todas as dimensões. Também apresentará os principais desafios e avanços esperados no campo da saúde, em es-

1 Elaine C. Marcial, Doutorado em Ciência da Informação, especialista em estudos de futuro e inteligência competitiva, Professora do Mestrado na Universidade Católica de Brasília (UCB) Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos na Universidade Católica de Brasília (NEP-UCB).

2 Marcello José Pio, Doutor em Ciências, especialista em estudos de futuro. Responsável pelos estudos de prospectiva do Observatório Nacional da Indústria (CNI), pesquisador convidado do Grupo de Pesquisas e Estudos Prospectivos da UCB (NEP/UCB), e pesquisador associado do Centro Internacional para el Desarrollo Sostenible do Panamá (CIDES).

pecial por conta da biorrevolução e do envelhecimento da população, já que a evolução científica e tecnológica apresentará contribuições significativamente. Por outro lado, alerta em relação ao aumento dos gastos com saúde e as dificuldades que o Estado terá de manter o *welfare state*.

O outro tema abordado refere-se aos grandes desafios que a educação do futuro apresenta. Em um mundo cada vez mais automatizado novas competências serão demandadas e a educação continuada será uma prática essencial para a permanência no mercado de trabalho.

Se por um lado haverá necessidade e demanda pelo desenvolvimento de novas competências, por outro as instituições de ensino tradicionais terão que ser capazes de desenvolverem essas competências, sendo que muitas delas ainda não explicitadas. O desenvolvimento de habilidades, atitude e conhecimento STEM³ serão chave nesse processo, desde o ensino fundamental para fazer frente a esse novo mundo.

Um olhar para o consumidor do futuro também será apresentado, destacando-se o nicho crescente advindo do envelhecimento da população. Também aparece como destaque o impacto do avanço da automação, das TIC e da virtualização nas decisões de compra dos consumidores, modificando a forma como essa atividade é atualmente desenvolvida.

O mercado de trabalho é outro tema de destaque desta parte do livro, que será muito impactado pelo avanço da tecnologia, em especial a automação e a digitização da economia, bem como pelo envelhecimento da população.

Por fim, um olhar voltado para as cidades do futuro, local onde hoje a maior parte da população do planeta reside. Questões como o futuro das cidades inteligentes, migração do rural para o urbano de forma acelerada, em especial na África e em parte da Ásia, crescimento das cidades e participação delas no produto interno bruto, o papel das pequenas e médias cidades são as principais questões tratadas.

3 STEM – acrônimo para ciência, tecnologia, engenharia e matemática.

Capítulo 3

Dinâmica populacional

Por Elaine C. Marcial¹

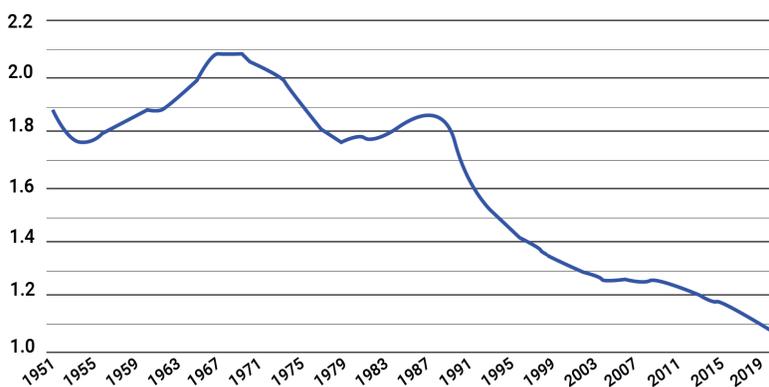
¹ Elaine C. Marcial, Doutorado em Ciência da Informação, especialista em estudos de futuro e inteligência competitiva, Professora do Mestrado na Universidade Católica de Brasília (UCB) e Coordenadora do Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos na Universidade Católica de Brasília (NEP-UCB).

3.1 População Mundial

O tema “Dinâmica Populacional” envolve os subtemas: crescimento da população, envelhecimento e movimentos migratórios. Sob a ótica das dinâmicas populacionais é esperado, até 2040, uma redução da população humana, revertendo a tendência de crescimento, segundo a visão de *experts* internacionais. Cabe destacar que a megatendência “Crescimento da população mundial a taxas marginais decrescentes”, identificada no estudo de megatendências mundiais 2030 (Marcial et al., 2015), foi uma das questões considerada estatisticamente ainda em aberto segundo a opinião de *experts* em pesquisa realizada em 2021. Entretanto, essa percepção quanto ao comportamento do crescimento da população mundial pode ter sido influenciada pela pandemia (Marcial et al., 2021).

No entanto, as Figuras 3.1 e 3.2 apresentam a queda na taxa de crescimento da população e a evolução do crescimento da população, respectivamente, confirmando a tendências de crescimento da população mundial a taxas marginais decrescentes.

Figura 3.1 – Taxa anual de crescimento da população mundial (% por ano)



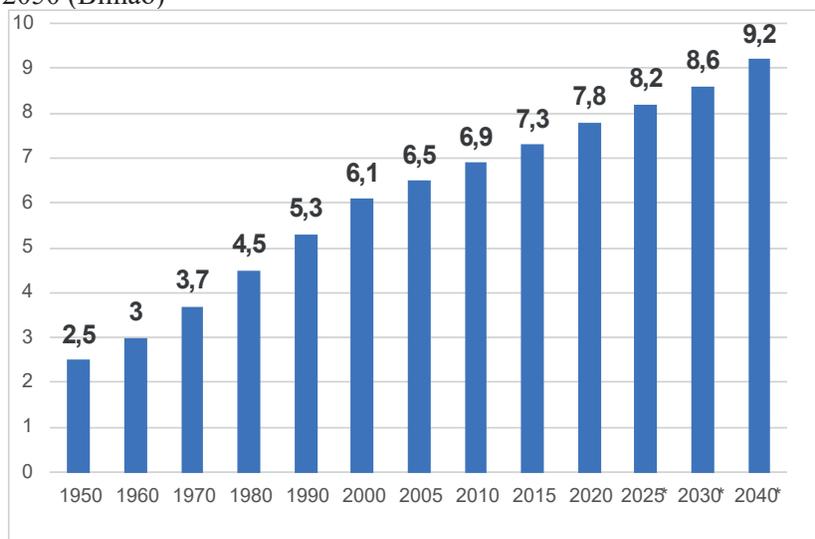
Fonte: Worldmeters.¹

¹ Curent world population. Disponível em: <https://www.worldometers.info/world-population/>. Acesso em: 26 mar. 2022.

Em 2020, a população mundial cresceu a uma taxa de cerca de 1,05% ao ano (abaixo de 1,08% em 2019, 1,10% em 2018 e 1,12% em 2017), segundo os dados do Worldmenters.

Não foram encontrados levantamentos de dados recentes. Os últimos dados populacionais encontrados foram publicados em 2019, a exemplo da expectativa de crescimento da população mundial, produzido pela Organização das Nações Unidas – ONU (UN, 2019) – Figura 3.2. Segundo os dados da ONU, a expectativa é de crescimento da população mundial, mas a taxas marginais decrescentes, como havia sido sinalizada no estudo de Megatendências mundiais 2030 (Marcial et al., 2015).

Figura 3.2 – Evolução do crescimento da população mundial 2000 – 2050 (Bilhão)



Fonte: United Nation (2019).

O advento da pandemia do COVID-19 levanta uma grande incerteza frente ao comportamento populacional futuro. A população mundial já vinha reduzindo sua velocidade de crescimento conforme mostrado. A pandemia, até o momento, resultou em cerca de 6,51 milhões de mortes no mundo. Apesar de representar apenas 0,065% da população mundial, a onda de pânico criada com a pandemia, pode gerar um efeito de aumento de fecundidade como ocorrido em alguns outros momentos da história, como o boom de bebês nascidos na década 1920, após a pandemia da gripe espanhola, que levou a morte mais de 50 mi-

lhões de pessoas,² ou a explosão de nascimentos após a Segunda Guerra Mundial, os chamados “baby-boomers”,³ cuja estimativa de mortos pela guerra chegou a cerca de 55 milhões de mortos.⁴

Entretanto, o mundo hoje é bem diferente do século 20. A mulher se encontra no mercado de trabalho, possui um maior nível de escolaridade e decide quando terá filhos. Mesmo com a onda de pânico gerada com a pandemia do COVID-19, o número de mortos, seja em números inteiros ou percentuais, foi muito pequeno frente a esses outros eventos citados. Sendo assim, não é possível afirmar se haverá ou não uma redução da população mundial ou se ela permanecerá com a trajetória existente anteriormente de crescimento a taxas marginais decrescentes.

Cabe aqui destacar que mesmo que a população mundial continue a crescer, conforme previsto antes da pandemia, ela apresentará um crescimento variado dependente da região, sendo que algumas dessas regiões registrarão queda. Segundo dados das Nações Unidas (2019b), nove países serão responsáveis por mais da metade do crescimento projetado até 2050, são eles: Índia – que deve passar a população chinesa ainda nesta década tornando-se o país mais populoso do mundo –, Nigéria, Paquistão, República Democrática do Congo, Etiópia, República Unida da Tanzânia, Indonésia, Egito e os Estados Unidos da América.

3.2 Envelhecimento populacional

Segundo a ONU,⁵ além de a população estar envelhecendo, em função do aumento da expectativa de vida e da queda dos níveis de fertilidade (Figura 3.3), o número de países que apresenta redução no tamanho da população cresce. Segundo esse estudo, entre 2019 e 2050 em cerca de 55 países ou áreas, as populações devem diminuir em 1% ou mais, em função da baixa taxa de natalidade e movimentos migratórios, sendo que cerca de 26 países podem reduzir cerca de 10%. A população da China deve reduzir em 31,4 milhões, ou 2,2%, entre 2019

2 Como a gripe espanhola transformou a sociedade? Disponível em: <https://bit.ly/3iHzQB0>. Acesso em 29 mar. 2022.

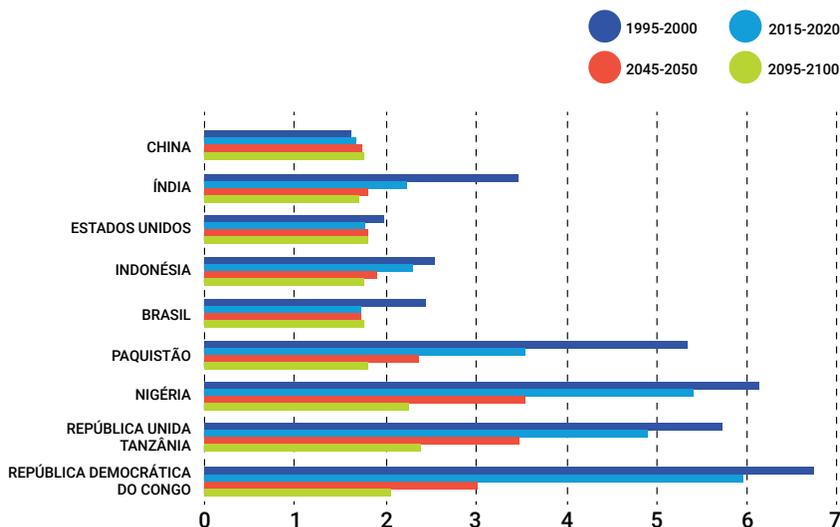
3 A queda da fertilidade. Disponível em: <https://bit.ly/3wJdJIS>. Acesso em 29 mar. 2022.

4 A Segunda Guerra Mundial em números. Disponível em: <https://bit.ly/3DILjj6>. Acesso em: 20 mar. 2022.

5 United Nations. World Population Prospects 2019: Highlights. June 2019. Disponível em: https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_10KeyFindings.pdf. Acesso em: 26 mar. 2022.

e 2050. Destaca-se que esses dados também não levam em conta o advento da pandemia do COVID-19.

Figura 3.3 – Taxa de fertilidade total esperada dos países mais populosos



Fonte: Nações Unidas, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/36pDrkM>. Acesso em: 26 mar. 2022.

Obs.: Taxa de fertilidade total (crianças por mulher).

Quanto ao envelhecimento da população espera-se, como megatendências para 2040 segundo a opinião de *experts*, a manutenção do envelhecimento da população afetando ainda mais o mercado de trabalho, a seguridade e o estado de bem-estar social. Segundo as Nações Unidas, “em 2018, pela primeira vez na história, pessoas com 65 anos ou mais superaram em número as crianças menores de cinco anos. O número de pessoas com 80 anos ou mais deverá triplicar, passando de 143 milhões em 2019 para 426 milhões em 2050”.⁶ Segundo Guillén (2021), por volta de 2030 o mundo estará experimentando uma “seca” de bebês e alguns países diminuirão de tamanho. Guillén alerta que com a redução da taxa de natalidade no leste da Ásia, na Europa e nas Américas combinada com um declínio mais lento na África, no

6 United Nations. World Population Prospects 2019: Highlights. June 2019. Disponível em: https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_10KeyFindings.pdf. Acesso em: 26 mar. 2022.

Oriente Médio e no sul da Ásia, o equilíbrio global do poder econômico e *geopolítico* poderá mudar.

Outra tendência seria a secularização da população mundial com o aumento da expectativa de vida da população mundial como uma surpresa inevitável. A expectativa de vida global ao nascer aumentou de 30 para 73 anos nos últimos dois séculos. Em países como o Japão e Hong Kong, a expectativa já passa dos 85 anos para os nascidos em 2022.⁷ A expectativa é que a população que vive até 100 anos ou mais deverá crescer para cerca de 3,7 milhões em 2050, segundo o Fórum Econômico Mundial.⁸ Nesse contexto, algumas possíveis rupturas, apontadas por *experts* brasileiros, seriam: os idosos dominando o mercado de trabalho e o aumento da longevidade sem envelhecimento.

O idoso de hoje não é igual ao idoso de ontem e muito menos será igual ao de amanhã. A cada década que passa, vive-se mais e com qualidade de vida. Alimentação adequada, exercícios físicos e avanços na medicina e na indústria farmacêutica tem melhorado a qualidade de vida de quem passa dos 60 anos. Segundo o professor Michio Kaku (2014; 2019), a humanidade caminha para a imortalidade e nunca se investiu tanto recurso no tratamento das doenças da mente, apesar de novas doenças terem surgido com o aumento da expectativa de vida, a exemplo da doença de Alzheimer e outras demências.

Bilhões de dólares têm sido investidos ao redor do mundo em pesquisas voltadas para a prevenção, tratamento e pesquisas da doença de Alzheimer e outras demências. Por exemplo, em 2018, o Congresso americano triplicou em três anos o orçamento anual do Instituto Nacional de Saúde (NIH) para Alzheimer e demências relacionadas, chegando a um orçamento de US\$ 1,9 bilhão. Em 2022, foi aprovado pela Câmara americana um aumento significativo de financiamento do governo federal para pesquisa, triagem, prevenção e tratamentos da doença de Alzheimer, incluindo a criação da Agência de Projetos de Pesquisa Avançada para a Saúde (ARPA-H), contando com recursos de cerca de US\$ 1 bilhão em 2022, que ajudará na luta contra doenças graves como

7 Life expectancy of the world population. Worldometer. Disponível em: <https://www.worldometers.info/demographics/life-expectancy/>. Acesso em: 29 mar. 2022.

8 How long will people live in the future? World Economic Forum. Jul. 202. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2021/07/how-long-will-people-live-in-the-future/>

da doença de Alzheimer e câncer.⁹

Por outro lado, é esperado o crescimento das atividades associadas à terceira idade (Marcial et al., 2021). Segundo Guillén (2021), a busca por atividades de lazer e entretenimento crescerá entre os idosos, bem como as viagens de turismo, principalmente para locais mais próximos ao local de residência, em função dos idosos preferirem viagens mais curtas. Os cruzeiros marítimos são e continuarão sendo uma preferência. Há, inclusive, ofertas específicas para a terceira idade. Com a popularização do uso de exoesqueleto para ajudar a carregar malas e realização de outras atividades que exijam carregamento de peso, aumentará ainda mais a predisposição dos idosos em ampliar as atividades realizadas e viajar mais.

O envelhecimento da população traz como consequência o aumento das dificuldades na manutenção do “*welfare state*” (Marcial et al., 2021). Relatório apresentado pelas Nações Unidas (2019b) mostra que a população mundial está envelhecendo rapidamente, sendo a faixa etária com 65 anos ou mais a que mais cresce. A razão de apoio potencial, que mede a razão entre as pessoas em idade ativa,¹⁰ e as com mais de 60 anos, está caindo em todo o mundo, pressionando os sistemas de proteção social ao redor do mundo. Segundo o relatório, no Japão essa proporção está em 1,8, considerada a mais baixa do mundo. Outros 29 países, em sua maioria da Europa e Caribe, já apresentam taxas abaixo de três. Até 2050, é esperado que cerca de 48 países, em especial os da Europa, América do Norte e Leste e Sudeste da Ásia, tenham razão de apoio potencial abaixo de dois. Guillén (2021) afirma que muitos em diversos países ao redor do mundo já se questionam quem irá cuidar dos idosos e pagará por suas aposentadorias. Nesse contexto, emerge a incerteza se até 2040 será possível a manutenção do estado de bem-estar social.

3.3 Migração internacional

Também é esperado, no campo dos movimentos migratórios, seu crescimento intra e interpaíses. Esses movimentos seriam motivados por tensões geopolíticas, pressões econômicas, mudanças na estrutura

⁹ Disponível em: <https://www.usagainstalzheimers.org/press/new-federal-spending-bill-includes-robust-investments-alzheimers-prevention-and-research>. Acesso em 29 mar. 2022.

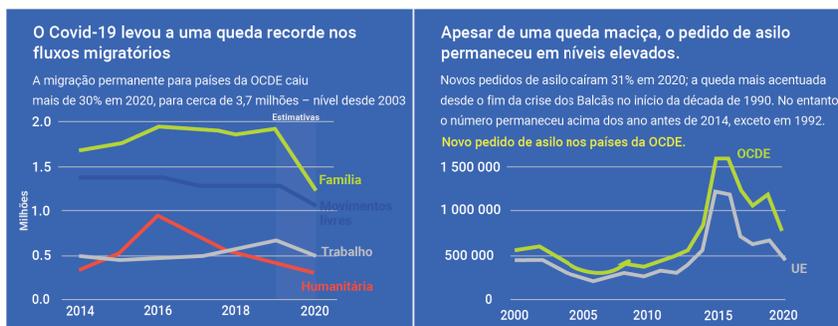
¹⁰ Pessoas em idade ativa são aquelas que fazem parte da população economicamente ativa (PEA).

etária, rápida urbanização, mudanças climáticas e eventos geológicos extremos. Essas visões são compartilhadas tanto por *experts* brasileiros, quanto pelos estrangeiros (Marcial et al., 2021).

Guillén (2021) apresenta argumentos destacando a importância dos movimentos migratórios, em especial para países com baixa taxa de fecundidade. Os migrantes além de aumentarem a PEA, aumentam as contribuições para a previdência e assistência social em geral. Nos Estados Unidos, desde 1990, para cá representam cerca de 47% da força de trabalho, enquanto na Europa cerca de 70%.

Destaca-se que houve uma redução significativa nos fluxos migratórios entre os países com o advento do COVID-19. Segundo relatório da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2021) a migração permanente para os países pertencentes à OCDE caiu mais de 30% em 2020, para cerca de 3,7 milhões – nível mais baixo desde 2003. Entretanto, os pedidos de asilo se mantiveram em níveis elevados apesar da queda de 31% em 2020, considerada a queda mais acentuada desde o fim da crise dos Balcãs, no início da década de 1990 (Figura 3.4).

Figura 3.4 – Impacto da pandemia do COVID-19 na migração mundial



Fonte: Eurostat, UNHCR (OCDE, 2021).

Entretanto, é esperado o retorno dos fluxos migratórios, até porque por um lado muitos países necessitam de mão de obra em função da redução da PEA e, por outro, há países que apresentam condições inóspitas, ou mesmo desesperadoras, os quais são uma fonte de migração na busca de melhores condições de vida. Além desses fatores, a maior intensificação das mudanças climáticas poderá contribuir para o retorno, e até mesmo intensificação, dos processos migratórios.

Apesar de a imigração, em geral, não ser bem-vista pela população do país que recebe os imigrantes, por perceberem esses imigrantes como possíveis usurpadores de postos de trabalho, os imigrantes podem trazer grandes contribuições para os países que os recebem. Destaca-se, em especial, os aspectos econômicos que contribuem com a força de trabalho, capital humano e empreendedorismo. Segundo o NIC (2021), em 2015, migrantes internacionais foram responsáveis por 9,4% do PIB global, ou mais que o dobro do que teriam produzido em seus países de origem.

Em geral, os fluxos migratórios se dão em duas condições extremas. Por um lado, movidos por pessoas altamente qualificadas e por outro com qualificação baixa ou nenhuma. Ambos buscam melhores qualidade de vida em um país estrangeiros e a preferência dos imigrantes são os países que forneçam cuidados com a saúde confiáveis, benefícios de seguridade social e proteção às liberdades civis. Conforme apresentado na Tabela 3.1, o fluxo migratório ocorre dos países menos desenvolvidos para os mais desenvolvidos. As projeções realizadas pelas Nações Unidas (2019c) é de que haja uma redução desse fluxo migratório nas próximas décadas, mas os quantitativos ainda serão altos, e provavelmente mais selecionados, buscando atender às necessidades do mercado de trabalho desses países desenvolvidos. Outro ponto que pode gerar a redução do fluxo migratório seria o crescimento dos países menos desenvolvidos, criando oportunidades de trabalho internos, por exemplo no campo da construção civil, absorvendo o crescente processo de migração do campo para as cidades que ocorre nesses países.

Tabela 3.1 – Número líquido de migrantes internacionais, em milhares (1950-2050)

Regiões	Ano									
	1950	1070	1090	2000	2005	2010	2015	2020	2030	2050
Mais desenvolvidas	129	3.455	6.978	13.133	16.452	16.945	14.527	14.010	11.114	11.690
Menos desenvolvidas	-129	-3.455	-6.978	-13.133	-16.452	-16.945	-14.527	-14.010	-11.114	-11.690

Fonte: United Nations (2019c).

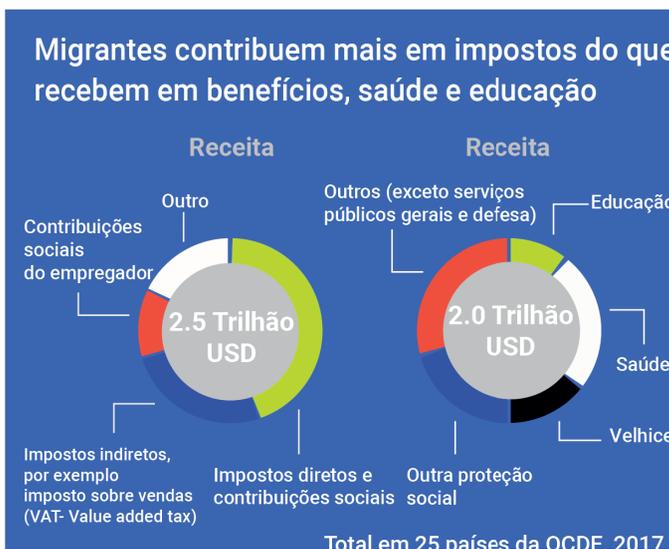
Obs.: o número líquido de migrantes representa o número de imigrantes menos o número de emigrantes.

Os imigrantes para países desenvolvidos frequentemente são aproveitados em serviços de baixo custo – como cuidados infantis ou idosos – que não competem com os nascidos no país e ainda permitem que esses cidadãos nativos entrem no mercado de trabalho. O imigrante

possui menor aversão ao risco, até porque deixaram sua terra natal para viver em outro lugar desconhecido, logo estão mais propícios a empreender do que os nativos, gerando, inclusive, novos postos de trabalho. Sendo assim, a imigração pode impulsionar a produção econômica do país, aumentando as taxas de participação da força de trabalho (NIC, 2021; Guillén, 2021).

Os imigrantes também contribuem mais com o pagamento de impostos do que recebem em benefícios, saúde e educação. Isso ocorre porque, apesar de contribuírem, em geral, não podem reivindicar benefícios da seguridade social caso trabalhem em situação irregular e usem números falsos de seguridade social (Guillén, 2021; OCDE, 2021). Conforme apresentado na Figura 3.5, as receitas obtidas com imigrantes nos 25 países que compõem a OCDE chegam a cerca de 2,5 trilhões de dólares e os gastos com seguridade social gira em torno de 2,0 trilhões de dólares.

Figura 3.5 – Contribuições e despesa com seguridade social dos imigrantes



Fonte: OCDE (2021).

Segundo relatório do National Intelligence Council (NIC, 2021), os Estados Unidos e os demais países pertencentes à OCDE – que atualmente abrigam mais da metade dos migrantes internacionais do mundo – provavelmente continuarão sendo os destinos preferidos.

Em países onde a PEA vem se reduzindo, os fluxos migratórios deverão ser estimulados, pois tais movimentos são vistos como oportunidades. Por exemplo, muitos dos países desenvolvidos precisarão de trabalhadores para cuidar da população cada vez mais idosa. É esperado nesses países um déficit de 2,5 milhões de enfermeiros e 400 mil médicos (NIC, 2021).

Alguns países já possuem políticas voltadas ao incentivo à migração, como é o caso do Canadá. Recentemente, Japão e Coreia do Sul lançaram mão de incentivos para atrair trabalhadores estrangeiros de forma a lidar com a escassez de mão de obra e a grande população envelhecida. Por outro lado, em função do fluxo desenfreado de refugiados advindo, em sua maioria, da África e do Oriente Médio para a Europa nos últimos anos, houve um crescimento de facções políticas anti-imigração, o que levou a alguns países europeus a adotarem políticas que poderiam minar os esforços para lidar com o declínio da força de trabalho nas próximas décadas.

Entretanto, o problema demográfico europeu e em outros países desenvolvidos associados a redução da PEA e aumento do número de idosos, provavelmente levará esses países a reverem suas políticas de imigração para lidar com essas questões. Espera-se que tais políticas tenham como foco a ampliação de benefícios econômicos e redução dos custos fiscais com os novos imigrantes.

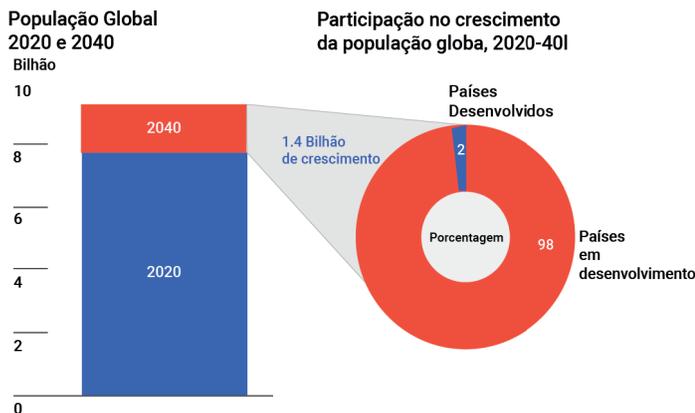
A Figura 3.6 fortalece a expectativa de que esses países deverão amplificar as políticas de imigração dirigidas, ao mostrar que o crescimento esperado entre 2020 e 2040 na população mundial virá dos países em desenvolvimento (98%) e não dos países desenvolvidos (2%).

Por outro lado, a perda de mão de obra qualificada nos países de origem pode reduzir a capacidade de inovação, com o aumento de lacunas críticas em determinadas áreas de conhecimento, mas por outro podem aliviar a pressão por empregos e incentivar os investimentos em educação, aumentando o nível geral do país. Em muitos casos, encaminham remessas de recursos ou atuam em dois países, por meio de empresas que operam nos dois países ou pelo fechamento de parcerias com o país de origem. Independente da forma, busca-se melhorar o desenvolvimento socioeconômico do país de origem (NIC, 2021; Guillén, 2021).

Figura 3.6 – De onde virá a força de trabalho

**A população mundial vai crescer
cerca de 1 bilhão até 2040...**

**... e quase todo esse
crescimento vai ocorrer
em países em desenvolvimento**



Fonte: Divisão de População das Nações Unidas

Fonte: Divisão de População das Nações Unidas (NIC, 2021).

3.4 Migrações internas nos países

Se por um lado, os *experts* brasileiros esperam a manutenção dos fluxos migratórios rural-urbano, por outro, os *experts* dos outros países apontam como incerteza, se haverá ou não, uma redescoberta das áreas rurais, gerando fluxos migratórios das cidades para o rural.

Segundo o NIC (2021), é esperado até 2040 uma rápida urbanização no mundo em desenvolvimento. Estima-se que surgirão cerca de 1,6 bilhão de novos residentes urbanos em todo o mundo até 2040. Cerca de 80% desse crescimento urbano ocorrerá em países menos preparados para receber esses migrantes, aumentando a pobreza com acesso limitado a alimentos, água e saneamento.

Por outro lado, com o avanço das comunicações, em especial com a tecnologia 5G e o avanço do trabalho remoto, pode-se esperar movimentos de saída dos grandes centros na busca por qualidade de vida. Essa nova realidade poderá abrir portas para o aumento do nomadismo, entretanto, sem dados suficientes para afirmar algo, caracterizando-se como uma incerteza.

Apresenta-se a seguir as principais sementes de futuro associa-

das às dinâmicas populacionais:

- Até 2040, a população mundial continuará crescendo a taxas marginais decrescentes? (Incerteza)
- Até 2040, será possível a manutenção do estado de bem-estar social? (Incerteza)
- Redução da taxa de crescimento da população mundial. (Tendência)
- Manutenção do envelhecimento da população afetando ainda mais o mercado de trabalho, a seguridade e o estado de bem-estar social. (Tendência)
- Queda da taxa de fecundidade no mundo. (Tendência)
- Aumento da expectativa de vida da população mundial. (Tendência)
- Aumento das dificuldades na manutenção do *welfare state*. (Tendência)
- Crescimento dos movimentos migratórios tanto dentro quanto entre os países. (Tendência)
- Retorno dos fluxos migratórios, com o fim da pandemia. (Surpresa inevitável)
- Os idosos dominando o mercado de trabalho e o aumento da longevidade sem envelhecimento. (Surpresa inevitável)
- Secularização da população mundial. (Surpresa inevitável)

Referências

Guillén, M. F. 2030: como as maiores tendências de hoje vão colidir com o futuro de todas as coisas e remodelá-las. Rio de Janeiro: Alta Cult, 2021.

Kaku, M. O futuro da humanidade: Marte, viagens interestelares, imortalidade e o nosso destino para além da terra. São Paulo: Crítica, 2019.

Kaku, M. O futuro da mente: a busca científica para entender, aprimorar e potencializar a mente. Rio de Janeiro: Rocco, 2015.

Marcial, E.C. et al. Megatendências mundiais 2040: Resultados preliminares da pesquisa. Relatório Técnico Científico (RTC-UCB). Brasília: UCB, 2021. DOI: 10.13140/RG.2.2.18642.63682.

Marcial, E.C. et al. Megatendências mundiais 2030: o que entidades e personalidades internacionais pensam sobre o futuro. Brasília: Ipea, 2015. National Intelligence Council. Global trends 2040: more contested world. Mar. 2021. Washington: NIC, 2021. Disponível em: <https://>

www.dni.gov/index.php/gt2040-home/introduction. Acesso em: 30 mar. 2022.

OCDE. International Migration Outlook 2021. Paris: OCDE, 2021. Disponível em: <https://www.oecd.org/migration/international-migration-outlook-1999124x.htm>. Acesso em 30 mar. 2022.

United Nation. World Population Prospects 2019, Volume I: Comprehensive Tables. New York: UN – Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019a.

United Nations. World Population Prospects 2019. New York: UN, Jun. 2019b. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/>. Acesso em: 30 mar. 2022.

United Nation. World Population Prospects 2019, Volume II: Demographic Profiles. New York: UN – Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019c.

Bibliografias complementares

<https://population.un.org/wup/Country-Profiles/>.

<https://population.un.org/wup/>.

Capítulo 4

O futuro da saúde no mundo

Por Mário Monteiro Andrade Filho¹

“As maiores inovações no século 21 virão da intersecção entre a biologia e a tecnologia”. Steve Jobs (2 de novembro de 2011)

¹ Mário Monteiro Andrade Filho é pesquisador convidado do Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos na Universidade Católica de Brasília (NEP-UCB).

O futuro da saúde no mundo

Para o entendimento completo da dimensão *População e Sociedade*, é importante entender para onde irá caminhar o campo da saúde, principalmente em função do aumento da expectativa de vida da população mundial, é primordial.

O tema foi foco da pesquisa realizada em 2021, junto a *experts* (Marcial et al., 2021), que destaca a possibilidade de surgimento de novas crises sanitárias causadas por epidemias, eventos pandêmicos ou por superbactérias. O aumento do risco do surgimento de novas doenças que desafie os sistemas de saúde foi apontado pelos *experts* nacionais e internacionais, bem como a possibilidade de um incidente biológico com alto fator de letalidade.

Esses *experts* também esperam o crescimento do foco em saúde, com o aumento de seu valor por conta da pandemia do COVID-19 e apontam a preocupação com o surgimento de doenças infecciosas resistentes à antibióticos (superbactérias).

Outro ponto destacado é o crescimento das doenças e dos transtornos mentais crônicos. Eventos apontados que podem estar correlacionados são o incremento do uso de drogas, o envelhecimento da população e a própria pandemia.

O crescimento da medicina preventiva e voltada para o aumento da longevidade é considerada uma tendência. Espera-se um crescimento da visão holística da saúde com foco na longevidade e na medicina preventiva com o uso da tecnologia da informação, biotecnologia e nanotecnologia para detecção precoce de doenças e dos tratamentos e dos investimentos em pesquisa para o aumento da longevidade. Também destacam o crescimento da telemedicina e da medicina de precisão. Uma possível ruptura destacada por esse grupo seria o **uso de terapia genética para a cura de várias doenças, inclusive do câncer** (uso de CRISPR¹ – edição genética).

No campo da saúde pública, os *experts* destacam o **aumento dos investimentos na rede hospitalar pública e privada e da universa-**

¹ O sistema CRISPR, ou seja, Repetições Palindrômicas Curtas Agrupadas e Regularmente Interespaçadas, consiste em pequenas porções do DNA bacteriano compostas por repetições de nucleotídeos.

lização dos serviços de saúde. Possivelmente essas percepções foram motivadas pelo evento da pandemia do COVID-19, necessitando uma investigação se há força suficiente para se tornar um evento consolidado.

É importante esclarecer que a Saúde é moldada por uma confluência de uma miríade de fatores, de quem somos filhos e herdamos o patrimônio genético, passa pelo ar que respiramos, a água que bebemos, a comida que comemos, o trabalho que fazemos, o estilo de vida que levamos, os lugares em que moramos e as pessoas que conhecemos.

Os eventos futuros no campo da Saúde aqui levantados e seus reflexos estão relacionados:

- às mudanças climáticas esperadas;
- às mudanças no perfil etário da população mundial;
- e sobretudo, tal qual afirmou Steve Jobs em 1991, à conjunção entre a tecnologia e biologia seja para o tratamento, atendimento e monitoramento dos seres humanos.

De acordo com Hammond (2019), no relatório Allianz “*The World in 2040 – The Next Episode*”,² nas duas próximas décadas, cinco grandes revoluções transformarão como a medicina é praticada e como os cuidados de saúde serão prestados. Essas revoluções esperadas estão listadas a seguir:

- A medicina personalizada – baseada na análise de DNA³ pessoal e dados eletrônicos de saúde coletados de pacientes individuais.
- A medicina de células-tronco – o uso de células-tronco para reparar/crescer tecidos e órgãos.
- Os medicamentos em nanoescala – desenvolvimento e uso de medicamentos em níveis moleculares e até atômicos.
- Edição de genes – alteração de DNA para melhorar a saúde.
- Saúde digital – usando inteligência artificial (IA) e tecnologia digital para diagnosticar e monitorar a saúde do paciente.

2 Disponível em: https://www.allianz.com/en/press/news/studies/190711_Allianz-world-in-2040-the-next-episode.html. Acesso em 29/12/2022.

3 DNA – ácido desoxirribonucleico: é um composto orgânico cujas moléculas contêm as instruções genéticas que coordenam o desenvolvimento e funcionamento de todos os seres vivos e alguns vírus, e que transmitem as características hereditárias de cada ser vivo.

Essas revoluções propostas por Hammond (2019) são consideradas neste capítulo como as chamadas surpresas inevitáveis. A essas revoluções, acrescenta-se as seguintes tendências de peso:

- Aumento de longevidade e das suas consequências.
- Aumento da proporção de mortes por doenças não comunicáveis (doenças crônicas) em relação às comunicáveis.
- Aumento da prevalência da obesidade.
- Aumento das chamadas doenças mentais e “epidemia de depressão”.
- Demanda por alimentos saudáveis e funcionais e também por nutrição personalizada.
- Aumento da demanda e de gastos com saúde.
- Novas pandemias e mudança de eixo de doenças após aumento da temperatura na Terra.
- Novas formas de mobilidade e logística ligados ao atendimento de pacientes e entrega de medicamentos – os *media-drones*.

Como incerteza, pode-se citar se ocorrerão, até 2040, mudança dos hospitais como conhecemos.

4.1 As revoluções na medicina e saúde até 2040

Cada uma das cinco revoluções propostas por Hammond deve transformar as perspectivas para a saúde e a longevidade humanas e fazem parte de um guarda-chuva chamado biorrevolução.⁴

Juntas, essas revoluções produzirão um paradigma totalmente novo para a saúde – aquele em que os consumidores irão recolher seus próprios dados de saúde, os geneticistas remover doenças hereditárias da população, sistemas de inteligência artificial (IA) auxiliarão rotineiramente o diagnóstico e os tratamentos serão adaptados e personalizados para cada paciente.

Chui et al. (2020) explica a biorrevolução como uma “confluência de avanços na ciência biológica” que “promete um impacto significativo sobre as economias e nossas vidas e afetará as indústrias desde a saúde e a agricultura até os bens de consumo, energia e materiais” (tradução nossa).

⁴ A biorrevolução é representada por avanços das ciências biológicas, que, associados ao desenvolvimento acelerado das tecnologias de informação e comunicação, terão impactos significativos nas economias, saúde, agricultura e energia (McKinsey Global Institute, 2020).

A biorrevolução, impulsionada pela inteligência artificial, automação e sequenciamento de DNA, levará ao desenvolvimento de terapias genéticas, medicamentos hiper pessoais e orientação genética baseada em alimentos e exercícios.

A revolução da “edição de genes” está ligada a uma nova ciência, chamada *SynBio*, ou biologia sintética (EY, 2020). Esse termo refere-se a uma ciência interdisciplinar que usa uma abordagem de engenharia na biologia para projetar e construir funções em células. As ferramentas principais dessa nova ciência possibilitam a leitura e reescrita do DNA. Essa nova abordagem também padroniza peças e sistemas biológicos para copiar, alterar e dar escala a inovações genéticas muito mais rapidamente do que métodos de engenharia genética tradicionais.

Três grandes avanços tecnológicos possibilitaram os avanços da biologia sintética. A primeira delas foi a rápida queda no custo e o aumento da velocidade de sequenciamento e síntese de DNA. A velocidade da mudança nessa área foi assustadora, pois o primeiro sequenciamento do genoma humano exigiu 13 anos e US\$ 3 bilhões; hoje, são necessários uma semana e cerca de US\$ 600. Essa velocidade e potência crescentes impulsionam o trabalho ágil baseado no ciclo projeto-teste-construção-aprendizado, um processo gerencial que os cientistas trouxeram da área de informática e programação.

O segundo, refere-se a capacidade do aprendizado de máquina de processar dados para identificar as configurações de DNA ideais para produtos ou processos. E o Terceiro foi o surgimento de ferramentas de edição, como repetições palindrômicas⁵ curtas agrupadas e regularmente espaçadas (CRISPR⁶), que podem cortar e combinar novos genes rapidamente, com precisão cirúrgica.

De acordo com consultoria Ernst Young (EY, 2020), as terapias

5 Palíndromo é uma palavra, frase ou número que permanece igual quando lida de trás para diante. Por extensão, palíndromo é qualquer série de elementos com simetria linear, ou seja, que apresenta a mesma sequência de unidades nos dois sentidos.

6 “O “Conjunto de Repetições Palindrômicas Curtas Regularmente Espaçadas” ou CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) é uma região do genoma das bactérias caracterizada pela presença de sequências (de DNA – ácido desoxirribonucleico) curtas e repetidas”. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/conceitos/crispr-a-surpreendente-tecnica-de-edicao-genetica/>. Acesso em: 30 set. 2022.

com células CAR-T,⁷ que chegarão nos próximos 20 anos, modificarão geneticamente as células de defesa do organismo (os linfócitos T) de um paciente, assim reconhecerão e atacam as células cancerosas específicas do paciente. A *startup* de biotecnologia Humane Genomics trabalha em uma terapia que identifica as características exclusivas do tumor de cada paciente e, em seguida, adapta geneticamente um vírus para infectá-lo e matá-lo. Pesquisadores da Stanford Medicine desenvolveram uma abordagem terapêutica chamada RASER, que reprograma as células cancerosas de forma que as proteínas hiperativas que alimentam o crescimento do tumor matem as células cancerosas, potencialmente eliminando ou reduzindo os custos e efeitos colaterais prejudiciais da quimioterapia.

Ainda como fruto da biorrevolução destacada pela Mckinsey (2020), teremos o uso cada vez maior das terapias celulares e de vacinas chamadas inovadoras. A terapia celular tem sua base em um produto biológico derivado de células vivas usadas para fins terapêuticos, com o objetivo de substituir ou reparar células e tecidos danificados. Com o aprimoramento da terapia celular, poderá ser desenvolvida uma medicina regenerativa, que é uma terapia para restaurar tecidos e órgãos doentes, diminuindo a dependência do transplante.

As chamadas *vacinas inovadoras*, além de estimularem o sistema imunológico para que ele destrua bactérias, vírus e até protozoários, elas poderão ser usadas em doenças não transmissíveis, como o câncer.

As terapias genéticas personalizadas poderão mudar drasticamente os fluxos de informações e materiais na área de saúde. Se hoje os medicamentos passam da fábrica para os pacientes para tratamento em massa, as terapias genéticas individualizadas de amanhã passarão do paciente (material celular) para a fábrica (personalização) e de volta para o paciente (para a administração do fármaco ou mesmo implante celular). Isso exigirá que a cadeia de suprimentos farmacêutica colabore de novas maneiras, sem falhas, enquanto garante a privacidade dos dados do paciente.

Ainda na esteira da biorrevolução, teremos até 2040, se-

7 “As CAR-T Cells são terapias personalizadas e agem em alvos específicos, usando células do paciente e não medicamentos sintéticos. Trata-se de células de defesa do organismo, que são extraídas do paciente e moldadas em laboratório para combaterem seu próprio tumor. Depois, são infundidas de volta no paciente. Ou seja, elas atuam reprogramando as próprias células do paciente contra a doença.” Disponível em: <https://www.accamargo.org.br/sobre-o-cancer/noticias/car-t-cells-podem-se-firmar-como-uma-mudanca-de-paradigma-para-o-tratamento>. Acesso em: 30 set. 2022.

gundo Hammond (2019), o crescimento da Medicina baseada em células-tronco. O desenvolvimento de tratamentos e curas baseadas em células-tronco terá um impacto como foi a penicilina no século XX. As células-tronco são células biológicas humanas que podem se diferenciar em qualquer outro tipo de célula e que podem então, se dividir para produzir mais do mesmo tipo de células-tronco. Em resumo, as células-tronco poderão ser utilizadas para cultivar qualquer tipo de tecido humano e pode até crescer para substituir um órgão inteiro.

Uma tendência advinda de toda essa tecnologia, mais presente nos países ricos, deverá ser o **turismo médico**, que **umentará** à medida que as pessoas procurarem a regeneração de órgãos e as terapias genéticas.

O conceito da biorrevolução confunde-se também com o conceito de Saúde Digital, apresentado pela *The Academy of Medical Sciences* (acmedsci.ac.uk), definida como a convergência dos avanços digitais e genômicos com a saúde.

A revolução ligada à saúde digital será, dessa forma, também propiciada pelas novas tecnologias de informação e comunicação e o uso de inteligência artificial. Muitas tecnologias assentam-se sob a estrutura da saúde digital, incluindo sequenciamento de genoma, sensoriamento remoto, o uso de medicamentos implantáveis, algoritmos que otimizam o atendimento e identificam tratamentos potenciais, e o desenvolvimento de novos caminhos de atendimento eletrônico. Teremos cada vez mais o uso de dispositivos conectados, uso de robôs em atendimento a pacientes e em cirurgias, bem como em próteses e exoesqueletos robóticos.

A personalização e o aprimoramento dos tratamentos e diagnósticos serão cada vez mais possíveis com a utilização das tecnologias que controlam os vários tipos de moléculas dentro das células (DNA, RNA, proteínas, metabólitos). O uso de inteligência artificial, *Machine Learnig* e outras ferramentas vai impulsionar as aplicações e possibilidades dessas tecnologias.

Essas tecnologias digitais têm o potencial de transformar a prestação de cuidados de saúde e sociais, reduzindo custos, aumentando o acesso e melhorando os resultados de saúde.

Os dispositivos conectados e os *wearables*, tais quais existem hoje serão ainda mais utilizados, mas teremos também outros formatos, como dispositivos vestíveis, ingeríveis ou implantáveis, capazes de monitorar informações sobre a saúde dos indivíduos e seu condicionamento físico, além de envolver os pacientes e a comunidade de cuidadores

para entregar as terapias de forma autônoma.

Entre esses dispositivos conectados, teremos os chamados biosensores (EY, 2020). Esses sensores baseados em biologia sintética trarão novos recursos para identificar doenças e outros riscos identificados no corpo humano e no ambiente. Já está disponível um *chip* CRISPR, baseado em grafeno, que detecta mutações genéticas no DNA.

Ainda ligado a dispositivos conectados, a Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN, 2020) afirma que têxteis inteligentes imbuídos de sensores moleculares em nanoescala que fornecerão saúde em tempo real e monitoramento ambiental. Tais têxteis inteligentes deverão estar amplamente disponíveis até 2030.

Os dispositivos implantados fornecerão um fluxo constante de informações de saúde em tempo real – dados que poderão ser de grande valia no acompanhamento individual do paciente bem como na análise de grandes grupos populacionais. Combinado com o aumento da capacidade de computação, isso oferecerá oportunidades para:

- Compreender a distribuição e os determinantes da saúde e da doença nas populações.
- Explorar riscos concorrentes e as contribuições relativas de fatores ambientais, comportamentais, biológicos e fatores genéticos na saúde e intervenções para melhorar a saúde.
- Desenvolver intervenções em nível populacional, cuidados, prevenção personalizados, avaliação de sua eficácia, potencialmente em tempo real e a um custo relativamente baixo.
- Modelar cenários futuros para resultados de doenças não transmissíveis e infecciosas.
- Desenvolver sistemas de alerta precoce e em tempo real para riscos de saúde emergentes.

Já as próteses, com uso da robótica, serão dispositivos programáveis e autocontrolados por unidades eletrônicas, elétricas ou mecânicas, os quais serão os substitutos artificiais para as partes do corpo.

Ao longo das próximas décadas, os dados de todas as cirurgias realizadas nesses sistemas serão catalogados, analisados e inseridos em algoritmos de aprendizado de máquina. As empresas gastarão uma incrível quantidade de tempo minerando esses dados para gerar inteligência, permitindo a criação de protocolos de prevenção de erros e procedimentos cirúrgicos automáticos e sem auxílio humano. Isso facilitará mais ainda o uso de robôs na medicina.

De acordo com o estudo *Improving Health 2040* (The Academy of Medical Sciences, 2016), a robótica já surge hoje como uma ferramenta útil em vários aspectos de saúde. É quase certo que isso se expandirá e uma aplicação futura provavelmente incluirá a prestação de serviços em hospitais. Poderá melhorar a comunicação com os idosos, facilitar o atendimento remoto, ajudar em terapias para as crianças e na assistência de movimento em casos de paralisia. Os *microbots*⁸ também poderão ser aproveitados para uso em cirurgias. Em 2040, os robôs cirúrgicos provavelmente ultrapassarão os humanos em suas capacidades de responder a ambientes microscópicos e de movimento rápido. Os robôs provavelmente serão tão prevalentes na década de 2040 quanto os computadores são hoje, e a interação humano-robô se tornará cada vez mais complexa.

Os algoritmos de inteligência artificial (IA) ajudarão os médicos na triagem, diagnóstico e seleção de terapias apropriadas (Benoit, 2020). As redes neurais permitirão que eles classifiquem informações e procurem padrões em uma escala que excede em muito a capacidade da maioria dos humanos. Eles poderão utilizar os trabalhos de pesquisa e estudos publicados em tempo real, fornecendo instantaneamente acesso a novas técnicas e opções de tratamento.

As IAs específicas para os procedimentos cirúrgicos serão treinadas como assistentes, supervisionando atentamente as operações e poderão avisar preventivamente situações de alarme e perigo. Benoit (2020) destaca que também teremos a IA voltada para o consumidor. Essas serão desenvolvidas para ajudar os pacientes a navegar no mundo cada vez mais complexo do sistema de saúde. A orientação fornecida pela IA ajudará pacientes a escolher a terapia com melhor relação custo-benefício.

Com todas essas tecnologias disponíveis e otimizadas até 2040, espera-se que a possibilidade de interoperabilidade leve a um sistema de saúde mais conectado, onde os dados serão compartilhados com segurança (exemplo o uso de *blockchain*) entre partes interessadas (por exemplo, pacientes, hospitais, consultórios médicos independentes e farmácias). Cada consumidor teria uma imagem personalizada de seu próprio bem-estar facilmente compartilhada entre os provedores (mesmo os sistemas de saúde diferentes) e substituiria o sistema de saúde desarticulado e desconectado que existe hoje.

Uma conclusão é que com o surgimento de aplicativos de tecno-

⁸ Os *microbots* são robôs microscópicos.

logia médica, a utilização da IA e do aprendizado de máquina em vários campos da medicina, bem como a crescente importância da telessaúde, tornarão os procedimentos de saúde mais preditivos e preventivos por natureza.

Com a profusão de dados disponíveis, os governos, cada vez mais, colocarão mais ênfase na prevenção de doenças – em vez da cura em si. O conceito P4 de saúde – preditivo, preventivo, personalizado e participativo – deverá ser amplamente adotado.

4.2 Tendências de Peso – Saúde 2040

Apresenta-se, a seguir, as principais tendências associadas ao tema saúde para o horizonte de 2040.

Aumento da longevidade e suas consequências

A população mundial com mais de 65 anos atingirá 1,6 bilhão, mais de 15% da população global até 2050, contra 0,7 bilhão, ou 9% da população total, em 2020 (UN, 2022). A expectativa de vida mais longa afetará os perfis dos consumidores em termos de mudanças nas preferências e necessidades, e alimentará inovações amigáveis aos idosos.

A expectativa de vida global cresceu significativamente nas últimas décadas e as projeções apontam que a população global de pessoas com 60 anos, ou mais, deverá crescer 56% até 2030, dobrando de tamanho até 2050. A Europa, por exemplo, terá cerca de 25% da população com idade superior a 60 anos. Tecnologias que prolonguem a capacidade cognitiva e o funcionamento físico (como exoesqueleto, robôs sociais alimentados com inteligência artificial, aplicativos de saúde, entre outros), aliados ao avanço na medicina (células tronco, cultivo de órgãos, CRISPR etc.), prometem não apenas prevenir doenças, mas retardar, e até mesmo, bloquear o envelhecimento – é a era da longevidade aumentada, representando uma revolução na visão do envelhecimento como conhecemos hoje (Chia, 2019).

O número de anos vividos com problemas de saúde também tende a aumentar: globalmente, nos últimos 20 anos, cada aumento de um ano na expectativa de vida ao nascer tem sido associado a um aumento de 0,8 ano na expectativa de vida saudável – permanência da transição do paradigma da cura para o cuidado.

Uma sociedade em envelhecimento gerará uma crescente necessidade de cuidados, os quais podem ser de muitas formas, mas em sua

essência está sempre preocupado com a assistência das atividades da vida diária a uma pessoa necessitada. Os sistemas de apoio aos idosos e a alocação de recursos de cuidados variam consideravelmente em todo o mundo. Onde há dados disponíveis, fica claro que a prestação de cuidados em casa por um membro da família, geralmente não treinado e não remunerado, é a pedra angular da prestação de cuidados em todo o mundo, sobrecarregando consideravelmente a economia e o indivíduo.

Para Krys e Born (2021), um aspecto indiscutível na prestação de cuidados é a necessidade crescente de mais cuidadores nos próximos anos. Com o aumento de outras doenças que exigem cuidados intensivos nas sociedades em envelhecimento, as necessidades de cuidados estão se tornando cada vez mais complexas. De acordo com a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), até 2040, serão necessários 60% adicionais de trabalhadores para manter a proporção atual de cuidadores para idosos – mas com melhorias de produtividade esse número poderia ser reduzido pela metade.

Estudo da Deloitte (2020) apontou que, entre pessoas mais velhas, 43% reportaram sentimento de solidão pelo menos de forma ocasional. A solidão aumenta em 29% o risco de doenças cardíacas, em 32% o risco de derrame, em 64% o risco de demência e em 26% a mortalidade (probabilidade de morrer dentro de um dado período).

À medida que as populações envelhecem, garantir acesso a cuidados básicos de saúde, prevenção de doenças, tratamento e reabilitação durante todas as fases da vida torna-se mais importante do que sempre.

Maior proporção de mortes por doenças não comunicáveis em relação às comunicáveis

De acordo com Krys e Born (2021), o aumento da população mundial até 2040 também pode levar a um quadro complexo e regionalmente variável em relação à carga de doenças e ao número de mortes por doenças comunicáveis (DC) e as não comunicáveis (DNC – doenças crônicas). Os números globais de mortalidade por DC estão diminuindo, muitas vezes devido ao aumento da higiene, saneamento básico e melhores padrões de vida. Isso, no entanto, coloca o foco nas DNCs, ou seja, doenças que são em grande parte de natureza crônica e geralmente resultam de uma combinação de múltiplos fatores, incluindo inatividade, má nutrição ou dietas pouco saudáveis, o uso nocivo de álcool e tabaco e até fatores ambientais, como poluição.

Doenças de custo e cuidados intensivos, como demência e dia-

betes, ampliarão sua posição entre as cinco principais causas de mortes por DNC – atrás de doenças cardiovasculares (que em grande parte são advindas de DNCs), câncer e doenças respiratórias. A julgar pelos fatores de risco desse grupo de doenças, grande parte é modificável e até evitável.

Para estar à frente dos tratamentos, a prevenção e o autocuidado (suportados por dispositivos inteligentes, como *wearables*⁹) desempenharão cada vez mais um papel em nosso futuro conceito de saúde: o objetivo será aumentar a expectativa de saúde, não apenas a expectativa de vida.

Aumento da Obesidade

De acordo com a *The Academy of Medical Sciences*,¹⁰ se a tendência for mantida, cerca de 50% da população do Reino Unido será obesa em 2040 e o restante dos países tendem a seguir esse aumento.

Junto com essa tendência, temos outra tendência a tentar anular esse crescimento – a busca por dietas e nutrição adequadas, mas ainda restrita às faixas mais altas de renda da população.

Aumento das chamadas doenças mentais e “epidemia de depressão”

De acordo com o painel “Mental Health” no *Asia Pacific Megatrends 2040* (Atherton; Cameron, 2020), as doenças mentais estão atingindo um limiar crítico onde terão que ser tratadas por mecanismos de saúde pública e políticas públicas com o mesmo, ou até maior, impacto do que outras doenças e condições de saúde que afetam a humanidade.

A depressão está entre as maiores causas de incapacidade no mundo, enquanto os distúrbios de ansiedade e o abuso de substâncias são as condições médicas que mais crescem. Prevê-se que o custo econômico global acumulado das doenças mentais em 20 anos possa chegar a 16 trilhões de dólares, uma média de quase 800 bilhões de dólares anuais (Atherton; Cameron, 2020).

Nos próximos anos, é provável que as condições de saúde mental sejam ampliadas por outras tendências. Por exemplo, o envelhecimento da população experimentará uma maior variedade e número de

9 Roupas inteligentes.

10 Disponível em: acmedsci.ac.uk.

condições de saúde mental, tais como demência e depressão. Além disso, os estilos de vida, o consumismo e nossa dependência da ‘validação’ das mídias sociais provavelmente levarão a um aumento nos distúrbios de ansiedade, estresse, condições pós-traumáticas e ‘burnout digital’.

Demanda por alimentos saudáveis e funcionais e também por nutrição personalizada

A demanda por alimentos saudáveis e as estratégias de órgãos públicos para melhorar a qualidade da dieta contribuirão para que tenhamos, cada vez mais, uma alimentação equilibrada e rica em nutrientes. A demanda por mais transparência em torno das origens dos alimentos, combinada com o investimento sem precedentes em tecnologia de alimentos, cria novas oportunidades para rastrear o caminho dos alimentos de onde são produzidos até o consumidor final, trazendo implicações disruptivas no longo prazo (Euromonitor, 2021).

Outras tendências esperadas são: nutrição personalizada; crescente valorização dos alimentos funcionais; alternativas a carne tradicional (carne feita a base de plantas e cultivada em laboratórios); alimentos orgânicos; probióticos, entre outros (Euromonitor, 2021). Entretanto, essas tendências não estão acessíveis à toda população, somente aquelas com renda para consumir tais alimentos.

Segundo a *Health of the Public in 2040* (The Academy of Medical Sciences, 2014), suplementos nutricionais destinados a fornecer uma refeição “nutricionalmente completa” na forma de pó se tornarão mais comuns e avançados. Caso esses alimentos se tornem mais baratos e disponíveis, poderão ajudar a reduzir a fome e a desnutrição globalmente.

Combinado com a crescente disponibilidade de sequenciamento de genoma, há chances dessa indústria desenvolver e fornecer dietas personalizadas, de acordo com a origem genética de um indivíduo, proporcionando, assim, melhoria na saúde e na aptidão física, bem como para a prevenção do aparecimento de doenças. As respostas a tais dietas seriam monitoradas por meio de aplicativos e tecnologias *wearable*, por exemplo.

Benoit (2020) descreve, com detalhes, como em 2040 essa tendência se manifestará com grande intensidade. Para ela, e baseado em dados extraídos da “saúde digital”, o médico ou uma “inteligência artificial” irá prescrever uma dieta diária feita à medida, com uso de medicamentos. Os alimentos e os medicamentos tornar-se-ão complemen-

tares à medida que a nossa compreensão da nutrição e da farmacologia evolui. As empresas seguradoras poderão complementar os custos desta nova “*foodicine*”, num esforço para impulsionar a medicina preventiva e melhorar as suas próprias rentabilidades.

Para Benoit (2020), a tendência dos medicamentos atrelados à alimentação não decolará enquanto não puder ser suportada pela próxima grande revolução culinária – o surgimento das “impressoras alimentares”. As refeições impressas farão uma transição lenta e discreta do seu gosto em conformidade com o seu plano alimentar, satisfazendo ao mesmo tempo a crescente necessidade de conveniência. Os medicamentos serão misturados e infundidos diretamente na refeição, eliminando a necessidade de engolir um comprimido.

Benoit (2020) apresenta dois cenários da utilização das impressoras alimentares. Um, menos otimista, no qual as classes média e média-alta teriam acesso a impressoras de alimentos, mas seriam puramente uma coisa de conveniência. Cartuchos para dietas da moda, suplementos nutricionais, e as “curas” homeopáticas estariam prontamente disponíveis. Poderiam estar disponíveis cartuchos de receita médica nas farmácias selecionadas, mas as opções seriam ainda limitadas. Já, em outro cenário mais otimista, no qual as impressoras alimentares seriam os novos micro-ondas. Estariam instaladas em todas as cozinhas. Toda a dieta seria prescrita e os cartuchos nutricionais seriam enviados diretamente ao consumidor. As empresas de vitaminas e suplementos nutricionais seriam as primeiras a adotar e trabalhar diretamente com companhias de seguros, as quais poderiam subsidiar em parte essa nova tecnologia.

Aumento da demanda e de gastos no setor de saúde

Dieleman et al. (2017) estimam que os gastos globais com saúde aumentarão de US\$ 9 trilhões, em 2014, para US\$ 24 trilhões, em 2040. Espera-se que os gastos per capita com saúde aumentem mais rapidamente nos países de renda média-alta, a uma taxa de 5,3% por ano. Esse crescimento será impulsionado pelo crescimento contínuo do PIB¹¹ e dos gastos governamentais com a saúde. Espera-se o crescimento de 4,2% dos gastos anuais com saúde nos países de renda média baixa. Quanto aos países de alta renda, o crescimento esperado dos gastos com saúde deverá ser de 2,1% por ano, enquanto nos países de baixa

11 PIB – Produto interno Bruto.

renda somente 1,8% a.a. Dessa forma, o *gap* de gastos com saúde entre os países mais ricos e os mais pobres tende ainda a aumentar.

Os crescimentos com gastos em saúde deverão ser maiores que o crescimento econômico e surge a pergunta: os governos aguentarão esses gastos ou teremos uma maior participação de gastos com a saúde privada?

Prevê-se, como já citado, que com a profusão de dados disponíveis, os governos colocuem mais ênfase na prevenção de doenças – em vez da cura em si. Dessa forma, o conceito P4 de saúde – preditivo, preventivo, personalizado e participativo – deverá ser amplamente adotado.

Espera-se também, por meio da educação e programas proativos de saúde pública, a promoção de estilos de vida mais saudáveis para reduzir a demanda e, conseqüentemente, os gastos.

Novas pandemias e mudança de eixo de doenças após aumento da temperatura na Terra

De acordo com o Global Trends 2040 (NIC, 2021), as mudanças climáticas esperadas alterarão o alcance geográfico e, em alguns casos frequência de surtos de doenças que afetam humanos, animais e plantas, incluindo aquelas que são transmitidas: por vetores (Nilo Ocidental, malária, dengue); pela água (cólera); transmitidas pelo ar (influenza, hantavírus); e por alimentos. O desmatamento e contato com novas áreas, poderão trazer novos patógenos e começar novas epidemias.

O The Academy of Medical Sciences (acmedsci.ac.uk), corrobora com a essa visão de alteração de alcance geográfico, e afirma que até 2040 o Reino Unido poderá sofrer com doenças tropicais, transmitidas por vetores como insetos, principalmente da família dos Culicidaeas.¹²

Ambos os estudos apresentam duas dúvidas: as doenças infecciosas terão um grande ressurgimento? A resistência aos antibióticos pode selecionar novas cepas de superbactérias e causar morbidade e mortalidade significativas?

¹² Culicidae é uma família de insetos habitualmente chamados de muriçocas, mosquitos ou pernilongos. As fêmeas em muitas regiões são *designadas* vulgarmente como melgas. Como os outros membros da ordem Diptera, os mosquitos têm um par de asas e um par de halteres.

Novas formas de mobilidade e logística ligados ao atendimento de pacientes e entrega de medicamentos – os *medi-drones*

Para Benoit (2020), não poderia faltar na visão 2040 ligada à saúde a utilização de *drones*. Avanços na concepção de *drones*, com sistemas de navegação autônomos, poderão proporcionar, até 2040, que as ambulâncias sejam as primeiras a adotarem.

No futuro, esses *medi-drones* proporcionarão um melhor acesso a locais, tempos de resposta mais rápidos, e uma viagem mais estável. Ainda hoje, algumas empresas estão a começar a adotar *drones* menores para o aprovisionamento de material médico em áreas remotas.

À medida que a sua utilização se torna mais econômica, é provável que sejam utilizados rotineiramente para ocorrências comuns. Para que usar transporte terrestre se se pode “fazer voar” os medicamentos prescritos diretamente aos pacientes?

4.3 Incerteza: mudança no formato dos hospitais como conhecemos

Com todas as possibilidades de tratamento devido a biorrevolução e a saúde digital, em 2040, os pacientes poderão ser acompanhados e tratados à distância, diminuindo a necessidade de internações. Mesmo se houver necessidade de operações, essas serão cada vez menos invasivas e possibilitarão uma recuperação mais rápida.

De acordo com o estudo *Challenges 2040*, as consultas e internações serão mais raras devido aos recursos limitados de saúde e um aumento significativo da idade média e da esperança de vida. Como resultado, o futuro será dominado pelo autocuidado. Apoiados pela tecnologia e habilidades relacionadas, os pacientes estarão em pleno controle, estarão principalmente auto diagnosticando seus problemas de saúde e realizando auto tratamento.

O estudo *The Future of Healthcare in 2040: A Reflection Post-COVID-19* (Zigrang et al., 2021) afirma que os cuidados ambulatoriais cresceram de menos de um terço para quase metade das receitas hospitalares de 1994 a 2018. É provável que a procura de serviços de internamento continue a descer, levando a aumento da atividade de fusões e aquisições (F & A) no setor e, potencialmente, o fim da atividade tradicional do hospital.

A seguir, estão listadas as principais sementes de futuro identifi-

cadras no campo do futuro da saúde até 2040.

- Crescimento da medicina preventiva com o uso da tecnologia da informação, biotecnologia e nanotecnologia na detecção precoce de doenças e no tratamento delas.
- Aumento de longevidade e das suas consequências. (Tendência)
- Aumento da proporção de mortes por doenças não comunicáveis (doenças crônicas) em relação às comunicáveis. (Tendência)
- Aumento da prevalência da obesidade. (Tendência)
- Aumento das chamadas doenças mentais e “epidemia de depressão”. (Tendência)
- Demanda por alimentos saudáveis e funcionais e também por nutrição personalizada. (Tendência)
- Aumento da demanda e dos gastos com saúde. (Tendência)
- Novas formas de mobilidade e logística ligados ao atendimento de pacientes e entrega de medicamentos – os *medi-drones*. (Tendência)
- Crescimento da telemedicina. (Tendência)
- A medicina personalizada – baseada na análise de DNA pessoal e dados eletrônicos de saúde coletados de pacientes individuais. (Surpresas inevitáveis)
- A Medicina de células-tronco – o uso de células-tronco para reparar/crescer tecidos e órgãos. (Surpresas inevitáveis)
- Os medicamentos em nanoescala – desenvolvimento e uso de medicamentos em níveis moleculares e até atômicos. (Surpresas inevitáveis)
- Edição de genes – alteração de DNA para melhorar a saúde. (Surpresas inevitáveis)
- Saúde digital – usando inteligência artificial (IA) e tecnologia digital para diagnosticar e monitorar a saúde do paciente. (Surpresas inevitáveis)
- Novas pandemias, endemias e mudança de eixo de doenças após aumento da temperatura na Terra. (Surpresa inevitável)
- Ocorrerão, até 2040, mudança dos hospitais como conhecemos? (Incertezas)
- Com o crescimento dos gastos com saúde, o *welfare state* será mantido até 2040? (Incertezas)

Referências

- Atherton, J. Cameron, A. Asia Pacific megatrends 2040. CSIRO's Data61: Brisbane, Australia, (2020).Disponível em:< https://data61.csiro.au/~media/D61/APFG-Website/19-00629_DATA61_REPORT_AsiaPacificMegatrends2040_draft5_200330.pdf?hash=E6C9241A-7F0FBE6ADE9E5CFD0C1441BC82A4CB12&la=en>. Acesso em: 1 jun.2022.
- Benoit, Heather. Tricorders & Telemedicine: 9 Emerging Trends for Healthcare in 2040. 2020. Disponível em: <https://www.m3design.com/future-healthcare-transformation-digital-impact/>. Acesso em: 2 jun. 2022.
- Born, D.; Krys, C. Six megatrends that will shape the world. [s.l: s.n.]. Disponível em: https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_trend_compendium_2050_en.pdf. Acesso em: 29 maio 2022.
- Chia, Hannah. The Longevity Chapter is Here: Are we ready? Centre for strategic futures foresight (CSF) Tenth Anniversary Issue 2019. Singapore, 2019.
- Chui et al. The Bio Revolution *Innovations* transforming economies, societies, and our lives. [s.l: s.n.], 2020. Disponível em: https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/life%20sciences/our%20insights/the%20bio%20revolution%20innovations%20transforming%20economies%20societies%20and%20our%20lives/may_2020_mgi_bio_revolution_report.pdf. Acesso em: 8 jun. 2022.
- Atherton, J.; Cameron, A. (2020). Asia Pacific megatrends 2040. CSIRO's Data61: Brisbane, Australia.
- Dieleman, Joseph L, et al. Future and Potential Spending on Health 2015–40: Development Assistance for Health, and Government, Pre-paid Private, and Out-of-Pocket Health Spending in 184 Countries. *The Lancet*, v. 389, n. 10083, May 2017, pp. 2005–2030, 10.1016/s0140-6736(17)30873-5. Acesso em: 27 de maio 2022.
- Euromonitor International. Trends Shaping the Future of the Food and Nutrition Industry, 2021. Disponível em : <https://go.euromonitor.com/ebook-consumer-foodservice-211012-trends-shaping-food-and-nutrition.html>. Acesso em: 21 de maio de 2022.
- Ernst Young. (2020). Megatendências 2020: Entenda as Megatedências e descubra as Oportunidades. Disponível em: https://www.ey.com/en_gl/megatrends. Acesso em: 8 jun. 2022.
- Fiesp, Ciesp, 2022 Macrotendências Mundiais até 2040. Disponível

em <<https://sitefilesstorage.blob.core.windows.net/uploads/2022/02/file-20220223190427-file-20220221132011-fiesp-ciesp-macro-tendencias-16.pdf>>. Acesso em: 12 de maio de 2022.

Godet, Michel. *Scenarios and strategic management*. London: Butterworths Scientific, Ltd., 1987.

Hammond, R. *Future Health, Care & Well-being*. Disponível em: https://www.allianz-partners.com/en_IT/Media/Futurology-Series/Future-Health-Care-and-Well-being.html. 2019. Acesso em: 8 jun. 2022.

The Academy of Medical Sciences. *Health of the public in 2040: The Academy of Medical Sciences*. Disponível em: <https://acmedsci.ac.uk/policy/policy-projects/health-of-the-public-in-2040>. Acesso em: 8 maio 2022.

Deloitte. *Impact of the COVID-19 pandemic on healthcare systems?* Deloitte, 2020. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/fr/fr/pages/covid-insights/articles/impact-covid19-healthcare-systems.html>. Acesso em :30 maio de 2022.

The Academy of Medical Sciences. *Improving the health of the public by 2040: Optimising the research environment for a healthier, fairer future*. The Academy of Medical Sciences [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.ageing.ox.ac.uk/download/192>. Acesso em: 8 jun. 2022.

McKinsey. *Top 10 tech trends that will shape the coming decade, according to McKinsey*. McKinsey, 2021. Disponível em <https://www.weforum.org/agenda/2021/10/technology-trends-2021-mckinsey/>. Acesso em: 22 jan. 2022.

McKinsey. *The Bio Revolution: Innovations transforming economies, societies, and our lives*”, McKinsey Global Institute, 13 de maio de 2020. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/life-sciences/our-insights/the-bio-revolution-innovations-transforming-economies-societies-and-our-lives>. Acesso em: 30 set. 2022.

3M. *Megatendências 3M: Avanços Tecnológicos*. Disponível em: <https://curiosidad.3m.com/blog/pt/megatendencias-avancos-tecnologicos>. Acesso em: 24 maio de 2022.

NIC. National Intelligence Council. *Global Megatrends 2040: a more contexted world*. Washington: NIC, Mar. 2021. Disponível em: <<https://www.preventionweb.net/publication/global-trends-2040-more-contested-world>>. Acesso em: 8 jun. 2022.

Reding, D. F.; Eaton, J. *OTAN Science and Technology Trends 2020-2040: Exploring the S and T Edge*. Disponível em: <<https://apps.dtic.mil/sti/citations/AD1131124>>. Acesso em: 8 jun. 2022.

Zigrang et al. (2021). *The Future of Healthcare in 2040: A Reflection*

Post-COVID-19. *Health Capital Topics*, 14 (2), Feb. Disponível em: <https://www.healthcapital.com/hcc/newsletter/02_21/HTML/2040/convert_healthcare_in_2040.php>. Acesso em: 8 jun. 2022.

OTAN. *Science & Technology Trends 2020-2040*. Brussels: Organização do Tratado do Atlântico Norte, 2020. Disponível em: https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-ST_Tech_Trends_Report_2020-2040.pdf. Acesso em: 30 set. 2022.

The Academy of Medical Sciences. *Improving Health 2040: Optimising the Research Environment for healthier, fairer future*. London: The Academy of Medical Sciences, 2016. Disponível em: <https://acmedsci.ac.uk/snip/uploads/5807581429f81.pdf>. Acesso em: 30 set. 2022.

United Nations. *World Population Prospects 2022: Summary of Results*. New York: UN, 2022. Disponível em: https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf. Acesso em: 29/12/2022.

Capítulo 5

Educação no futuro

Por Elaine C. Marcial¹

¹ Elaine C. Marcial, Doutorado em Ciência da Informação, especialista em estudos de futuro e inteligência competitiva, Professora do Mestrado na Universidade Católica de Brasília (UCB) e Coordenadora do Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos na Universidade Católica de Brasília (NEP-UCB).

O tema “Educação do futuro” é um tema que emerge das preocupações de *experts* na pesquisa sobre megatendências mundiais 2040, realizada em 2021 (Marcial et al. 2021) e que não apareceu como tema relevante no estudo das megatendências mundiais 2030 de 2015 (Marcial et al., 2015). A análise integrada de temas que emergiram da pesquisa realizada em 2021, como “transformações metodológicas”, “educação autônoma e a distância”, “educação superior” e “qualidade da educação”, mostram como surpresa inevitável a mudança no modelo educacional em todo o mundo para o atendimento às demandas do século XXI.

Ao longo dos séculos, instituições educacionais mudaram do paradigma de atender às necessidades de aprendizado de poucos para atender a de muitos. Eles também se formalizaram e se profissionalizaram. Tornaram-se o principal canal de socialização das novas gerações, oferecendo formação cada vez mais qualificada aos indivíduos para o mercado de trabalho e a promoção da mobilidade social, desenvolvendo identidade e cidadania. Essas instituições são peça chave para o desenvolvimento cognitivo e a transmissão do conhecimento, bem como promovem o desenvolvimento do caráter e o treinamento comportamental, incluindo valores e julgamento ético (OCDE, 2021).

Entretanto, as transformações tecnológicas e sociais pelas quais passam a humanidade, sugerem a construção de um novo paradigma educacional. Desafios econômicos, sociais e ambientais, associados às transformações tecnológicas e digitais, demandam um novo meio de construção de conhecimento, capacidades, atitudes e valores nas gerações futuras. À medida que as sociedades continuam a mudar, os sistemas educacionais precisam se adaptar para garantir que as pessoas tenham acesso às oportunidades que surgirem ao longo de suas vidas.

No modelo tradicional de educação adotado após a revolução industrial, o conhecimento adquirido durava praticamente a vida toda. À medida que isso deixa de ser verdade, com a demanda por conhecimento e habilidades mudando ao longo do tempo, coloca em xeque o modelo atual. Nesse contexto, espera-se uma ruptura no modelo de educação de 100 anos atrás, na qual o papel do aluno, do professor e a infraestrutura educacional terá que mudar para atender às novas demandas dessa sociedade emergente (Harari, 2018; World Economic Forum, 2022a).

Apesar de o conceito de aprendizagem ao longo da vida não ser novo, poucas foram suas implicações para as políticas públicas na prática, segundo estudo da Organização para a Cooperação e De-

envolvimento Econômico (OCDE, 2021). Entretanto, espera-se uma mudança nas políticas públicas ao redor do mundo impulsionada pelo avanço da digitalização e da inteligência artificial (IA), pressionados pela nova natureza dos empregos e do local de trabalho, que demandarão novas competências. Destaca-se que esse processo foi acelerado pela pandemia do COVID-19 e os sistemas educacionais terão que repensar o modelo de ensino-aprendizado para o desenvolvimento de competências ao longo da vida das pessoas. Espera-se que as trajetórias de aprendizagem se tornem mais complexas e diversificadas ao longo da vida de acordo com as demandas advindas do mundo do trabalho e de outros contextos, em especial no que tange a definição e ao uso de recursos de aprendizagem que serão ser fornecidos ao longo do ciclo de vida dos indivíduos. Espera-se também que os desenhos curriculares se tornem mais dinâmicos, sendo atualizados e adaptados regularmente, acompanhando a evolução do mercado de trabalho (Harari, 2021; World Economic Forum, 2022a).

Espera-se também uma ruptura na tendência seja de manutenção dos currículos padrões que valerão para toda a vida, com a entrada da abordagem desenvolvimento ao longo da vida de conhecimentos, habilidades, atitudes e valores. Como exemplo, em 2019, a Alemanha introduziu uma estratégia nacional de educação continuada (World Economic Forum, 2022a). Espera-se também a manutenção do aprendizado continuado, conforme apresentado no livro megatendências mundiais 2030 (Marcial et al., 2015). Nesse contexto, um novo modelo de acreditação deverá emergir, a exemplo das certificações,¹ nano diplomas,² dentre outros.

Segundo estudo realizado pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2021), a pandemia disponibilizou uma diversidade de formas e canais de aprendizagem, reforçando a necessidade de se repensar as formas de reconhecimento e credencia-

1 Também chamado de micro credenciamento, também chamado de mini qualificações servem para demonstrar habilidades, conhecimento e/ou experiência em uma determinada área ou capacidade que foram desenvolvidas ao longo da trajetória profissional.

2 Os cursos da categoria *nanodegree* – curso pautado pelas demandas do mercado de trabalho é dividido em projetos, a serem executados pelos estudantes – foram lançados pela empresa Udacity, nascida no Vale do Silício, que elabora conteúdos com base no que empresas de tecnologia como Google, Facebook e Amazon têm como demanda, sendo uma oportunidade para os estudantes aprenderem hoje “as habilidades de que precisam para se preparar para as profissões do futuro”. Disponível em: <https://www.estudarfora.org.br/como-funciona-para-que-nanodegree/>. Acesso em 19 abr. 2022.

mento da aprendizagem não formal, informal e prévia. Essas transformações colocam em xeque as características fundamentais dos sistemas educacionais de hoje.

Tomando como base o avanço tecnológico vivido atualmente, em especial nos campos digital e de automação, a maioria das instituições educacionais, por serem instituições tradicionais, têm permanecido desalinhadas com as necessidades demandadas pelo mercado de trabalho.

Para que haja um alinhamento, haverá a necessidade de preparar as pessoas para se tornarem e permanecerem como trabalhadores competentes e inovadores, bem como cidadãos ativos. Segundo estudo da OCDE (2021), a educação moldou o mundo que vivemos hoje e terá a responsabilidade de contribuir com a construção do mundo futuro. Para tanto, ela terá que mudar. O problema é que a educação é um sistema social conservador, que por um longo tempo esteve envolvido na transmissão do conhecimento da humanidade para as novas gerações e sua preparação para toda a vida futura. Por outro lado, a educação tem significativa importância na construção do futuro, visto que o que as crianças aprendem hoje na educação infantil afetará suas aspirações e contribuições para a sociedade no futuro (OCDE, 2021).

A mudança é imperativa, pois quando os sistemas educacionais falham, talentos são perdidos. Entretanto, para a construção de um sistema educacional moderno que prepare as gerações atuais e futuras para o mercado de trabalho, haverá a necessidade da manutenção de professores competentes e atualizados com os meios que facilitem o aprendizado, bem como da oferta de uma infraestrutura física que viabilize essas formas modernas de aprendizagem (World Economic Forum, 2022a). Sendo assim, não se pode afirmar que a maioria das instituições de ensino ao redor do mundo, sejam elas públicas ou privadas de ensino fundamental, médio ou superior, estará renovada e adaptada para viabilizar o aprendizado das gerações futuras, conforme demandado pelo mercado de trabalho.

Outra questão que coloca em xeque o modelo atual de educação está associado a redução da produtividade no trabalho em relação à crescente superqualificação (inflação de diplomas) da mão de obra sem a oferta das habilidades demandadas pelo mercado, colocando em xeque os resultados econômicos e benefícios da educação e desafiando os formuladores de políticas públicas (OCDE, 2021; Bhargava, 2021). Além disso, empregadores alertam, há anos, sobre o aumento das lacunas entre as competências exigidas pelo mercado e aquelas que os

trabalhadores realmente possuem, sem modificações adequadas nos sistemas educacionais essa lacuna somente vai piorar (World Economic Forum, 2022a).

Caso os alunos, as famílias e os empregadores comecem a questionar os benefícios econômicos da educação, poderá haver uma redução da confiança e dos investimentos nos sistemas educacionais ao redor do mundo.

Os sistemas educacionais poderão enfrentar desafios orçamentários fruto do crescimento da dívida pública, muito associado ao envelhecimento da população e às adaptações às mudanças climáticas. Reformas no sistema educacional demandarão investimentos e pressões para o aumento dos resultados e eficiência. Entretanto, o aumento da qualidade educacional, impulsionado pelos investimentos em tecnologia, ainda não se concretizou. Os custos inflacionados, a produtividade, a qualidade estagnada ou decrescente, os retornos econômicos questionáveis sobre o investimento e pressões externas por eficiência apresentam-se como os principais desafios que os sistemas educacionais irão enfrentar.

Além disso, os sistemas educacionais terão que preparar os jovens para empregos que ainda não foram criados, para usar tecnologias que ainda não existem, ou solucionar problemas que ainda não foram postos. Por outro lado, muito do que está dado, provavelmente, não mais existirá, incluindo postos de trabalhos tradicionais. Os avanços no campo da digitização e automação, em especial da inteligência artificial, serão os grandes motores dessa mudança, sendo muitos inesperados. Cabe lembrar que nem os jovens estão *propensos* a investir tempo e energia em uma educação se não perceberem um retorno concreto, muito menos as empresas irão investir em aprendizagem ao longo da vida de seus funcionários se eles estiverem propícios a mudar, a qualquer momento, para outro emprego que acharem melhor (OCDE, 2021).

Entretanto, conforme ressaltado pelo estudo da OCDE (2021), a educação não oferece apenas benefícios econômicos, também produz capital social, como valores individuais e normas de conduta sociais que mantém as sociedades unidas.

6.1 Transformações metodológicas

As transformações pelas quais a sociedade passa, em especial impulsionadas pelo avanço da tecnologia em todas as áreas do conheci-

mento, exigem mudanças nas metodologias de ensino/aprendizado. Inteligência artificial, *CLOUD computing*, *big data*, Internet das Coisas, realidade virtual e outras formas de digitização e automação estão remodelando o mundo, mudando o que aprendemos, bem como os meios pelos quais aprendemos.

A inteligência artificial irá promover mudanças no modelo educacional. Ela irá gerar uma série de questões fundamentais associadas ao propósito da educação no futuro e forçará a redefinição do que será humano na aprendizagem e no desenvolvimento humano, segundo estudo realizado pela OCDE (2021).

Quais os domínios da atividade humana que não serão ou não deverão ser assumidos por máquinas e algoritmos inteligentes? Quando muitas habilidades produtivas forem substituídas por computadores, quais áreas permanecerão “humanas”? O que os alunos terão que aprender em um mundo orientado por IA? A inteligência artificial proporcionará à educação a oportunidade de se concentrar no que torna os humanos verdadeiramente humanos? Seremos capazes de compreender a complementaridade entre as capacidades dos computadores e dos humanos? Essas são algumas das incertezas listadas pela OCDE (2021) associadas à entrada da IA no mercado e seus impactos na educação.

A compreensão da complementaridade entre as capacidades dos computadores e dos humanos contribuirá na redefinição dos currículos, pois ajudará a decidir o que os alunos deverão aprender. O uso da IA tem a potencialidade de mudar as formas, os canais e os processos pelos quais aprendemos. Seu uso associado ao *big data*, análise do aprendizado e as tecnologias digitais em geral fornecerão as condições necessárias para o um aprendizado mais personalizado e individual em escala, melhorando significativamente sua produtividade (OCDE, 2021).

Se por um lado o advento da pandemia do COVID-19, acelerou esses processos de automação e de transformação digital, e fez emergir diversos pontos fracos existentes no sistema educacional, por outro salientou oportunidades de melhoria. Espera-se futuros “hiper digitais” em apenas 10 a 15 anos – futuros com conectividade universal, computação ubíqua, modelos de negócios digitais disruptivos, produção física automatizada, trabalho cada vez mais virtual e comércio global digitalizado (OCDE, 2021).

Esse mundo que se apresenta sugere a necessidade de manutenção das transformações metodológicas e tecnológicas no processo ensino/aprendizado. Os desafios apresentados pela alta conectividade, hiperinformação e automatização impactam diretamente o sistema

educacional. As transformações esperadas nos mercados e na natureza do trabalho exigirão novas habilidades e atitudes para participação em comunidades físicas e virtuais, pessoais e de trabalho, e nos relacionamentos pessoais que deverão ser desenvolvidos desde a primeira infância até a velhice. Há um debate mundial sobre quais serão as habilidades, atitudes, valores e conhecimentos que serão demandados no futuro. Entretanto, a resposta de quais serão esses direcionadores da transformação dos sistemas educacionais ainda estão sem uma resposta precisa, exigindo muitas vezes ousadia e coragem de líderes e formuladores de políticas educacionais (Harari, 2021; OCDE, 2021). De qualquer forma, independentemente das tarefas que as “máquinas” assumirão, as pessoas ainda serão demandadas a contribuir com a vida social e cívica. Conforme as tecnologias digitais forem evoluindo, o ser humano terá que reconsiderar o que significa ser “humano” (OCDE, 2021).

Sendo assim, a necessidade de mudança é certa. Entretanto, não é possível saber se, até 2040, os sistemas educacionais ao redor do mundo serão capazes de mudar rapidamente, ajustando-se a essa nova realidade. Por outro lado, devido à queda no nível educacional, há educadores que advogam a necessidade de retorno a metodologias que funcionaram no passado. Nesse contexto, a incerteza posta é se haverá um retorno há métodos anteriormente utilizados como memorização e outras receitas que foram bem-sucedidas no passado, já que o modelo atual falhou?

De qualquer forma, é premente a revisão dos currículos para atender às necessidades demandadas hoje em dia. Por exemplo, já é possível verificar o crescimento da demanda pelo aprendizado de idiomas e de habilidades digitais. Habilidades sociais como criatividade, liderança e flexibilidade, bem como resolução de problemas complexos, pensamento crítico e colaborativo também serão demandas. O desenvolvimento de fluência digital e habilidades em ciências, tecnologia, engenharia e matemática desde cedo são também demandados. Por outro lado, o pensamento crítico e considerações éticas para o uso da tecnologia deverão fazer parte do currículo básico também. Esse movimento está associado tanto às demandas relacionadas ao trabalho quanto às motivadas por outros fatores sociais como o turismo e as interações sociais em rede (OCDE, 2021; World Economic Forum, 2022a).

Outro ponto que merece destaque refere-se à necessidade de se ensinar a aprender. Costumava-se aprender a como executar um trabalho, agora aprender passa a ser o trabalho. A prosperidade e o bem-estar dependerão das formas individuais e coletivas de conhecer, compre-

ender e mudar as condições em que se vive em coletividade (OCDE, 2021).

Com o crescimento exponencial do conhecimento, muito do que é conhecido hoje se torna obsoleto e as pessoas necessitam estar permanentemente aprendendo, para não ficarem desatualizadas. Como a maior parte do conhecimento existente hoje está disponível e a tecnologia permite que educadores e alunos acessem o conhecimento em vários formatos e maneiras, a qualquer hora e de qualquer lugar, novas formas de ensino estarão disponíveis nas quais os alunos serão participantes ativos.

Nesse contexto, a educação deixa de ser apenas ensinar algo aos alunos, mas passará a ajudá-los a desenvolver uma bússola confiável e proporcionará as ferramentas adequadas para que possam navegar, com confiança, por um mundo cada vez mais complexo, volátil e incerto. A educação também terá que ser capaz de desenvolver a curiosidade, abrir as mentes e mobilizar os recursos cognitivos, sociais e emocionais para agir (OCDE, 2021). Muitas dessas transformações metodológicas e tecnológicas no ensino/aprendizado já estão em andamento em alguns países ao redor do mundo. Por exemplo:

- No Japão, desenvolve-se habilidades socioemocionais nos educandos, abandonando a educação tradicional de replicar as fórmulas e os conceitos prontos.
- Em Singapura, os educandos buscam desenvolver o seu próprio conhecimento com recursos tecnológicos e educacionais, também adotam no planejamento pedagógico as competências socioemocionais.
- Na Finlândia, criou-se um método de aprendizado conhecido como CLIL,³ cuja estrutura da disposição dos alunos em sala de aula também mudou, optando-se por uma interação em círculo, para facilitar os debates e os diálogos em sala de aula.
- Na Coreia do Sul, reconhecem que tecnologia e educação andam de mãos dadas, onde a estrutura das salas de aula conta com lousas digitais e sistemas de livros digitais.

Além disso, durante a pandemia do COVID-19, sistemas educacionais mais avançados e proativos descobriram tecnologias que aprimoram a aprendizagem experimental, apoiando métodos de ensino

3 CLIL – sigla em inglês para Aprendizagem Integrada de Conteúdo e Linguagem.

baseados em projetos e pesquisas, facilitando atividades práticas e o aprendizado cooperativo, e fornecendo avaliações formativas em tempo real. Também foram testadas tecnologia de apoio ao aprendizado com material didático interativo e não linear baseado em *design* instrucional de última geração, *software* sofisticados para experimentação e simulação, mídia social e jogos educacionais. Resta saber se com o retorno às aulas presenciais essas novas metodologias de ensino continuarão sendo utilizadas e se elas serão disseminadas ao redor do mundo, passando a fazer parte das metodologias de ensino aprendizado até 2040.

No futuro, o aprendizado terá que permitir aos indivíduos, às comunidades, às organizações e às sociedades traduzirem as oportunidades em uma vida boa para todos. Aprender será permitir que indivíduos e sociedades adquiram agência e ajam para o bem comum.

Na pesquisa realizada sobre megatendências mundiais 2040, os *experts* destacam as tendências de crescimento do uso de metodologia educacional globalizada, preservando a cultura local, a educação focada nas habilidades e capacidades individuais das crianças e o crescimento do uso de modelo educacional que privilegiam ambientes propícios para o aprendizado baseado na curiosidade e criatividade, bem como a inserção da robótica, inteligência artificial, realidade virtual, lógica e programação nos currículos básicos e profissionalizantes (Marcial et al., 2021). Entretanto, pelo exposto, tais movimentos se configuram mais como surpresas inevitáveis do que propriamente tendências.

6.2 Educação autônoma e a distância

O ensino a distância não é algo novo, em 1728, em Boston, o professor Caleb Phillips desenvolveu o primeiro curso a distância por correspondência. Em 1922, o Pennsylvania State College apresentou o primeiro curso via broadcast pelo rádio e em 1934, a Universidade de Iowa o primeiro pela TV. Com o advento do computador e em seguida da internet, a evolução do ensino a distância passa a ocorrer de forma mais rápida. Em 1997, surgiu o primeiro e-learning system (WebCT 1,0 LMS). Em 2003, 16% dos estudantes americanos não graduados estavam envolvidos com algum curso *online* na universidade. O número chegou a 3.2 milhões em 2005. Em 2009, 53% dos estudantes das escolas públicas estavam envolvidos em algum curso de educação a distância. O YouTube EDU introduziu centenas de cursos livres. Por volta de 2013, 60% das universidades e private College americanas ofe-

reciam cursos *online*.⁴

Entretanto, com o advento da pandemia do COVID-19, todos os alunos ao redor do mundo, independentemente do ano de estudo, foram levados a realizar seus cursos à distância. Esse movimento fez com que instituições de ensino e professores tivessem que, rapidamente, ajustar seus métodos de ensino para o ambiente virtual. Não se tratava de ensino a distância nos moldes já conhecidos, mas de ministrar aulas a distância. Diversas soluções tecnológicas foram desenvolvidas ou aprimoradas para suportar aquela nova realidade. Nesse contexto, espera-se um crescimento mais rápido do ensino à distância em todo o mundo. A expectativa é de que o aprendizado se torne cada vez mais onipresente com o crescente uso das tecnologias digitais de automação, ao fornecer novos canais e metodologias alternativas de aprendizado.

Esse movimento abre as portas para a ocorrência de uma ruptura no modelo atual no qual os indivíduos passam a ter uma educação autônoma, desassociados ou integrados às escolas tradicionais, segundo levantamento realizado por Marcial et al. (2021). Outra possível ruptura apontada também por *experts*, nessa mesma pesquisa, está associada à educação formal não seguir padrões fixos pré estabelecidos e as escolas físicas serem transformadas em centros de pesquisa.

Entretanto, da mesma forma que a pandemia mostrou as possibilidades do ensino à distância, ela também realçou a importância do ensino presencial sinalizando a permanência da importância das instituições de ensino físicas como locus de socialização, de desenvolvimento cognitivo e de redução das desigualdades (OCDE, 2021). O convívio em sala de aula e nos centros de ensino inspiram a conversação, a colaboração e a experiência social em todos os níveis. Nesse contexto, espera-se que a adoção de um modelo híbrido que conjugue atividades presenciais e a distância seja o modelo predominante até 2040.

Segundo estudo realizado pela OCDE (2021), a pandemia também mostrou que as escolas e os professores devem interagir mais com outros locais de aprendizado, como as famílias. Durante esse período, ficou claro a importância da participação da família no processo de aprendizado. Entretanto, não é possível afirmar que essa integração dos pais com o processo de aprendizado dos filhos será mantida após o retorno às aulas presenciais. Sem o apoio fornecido pelos pais no ensino

4 300 Years of Distance Learning Evolution [INFOGRAPHIC]. Disponível em: <https://www.learndash.com/300-years-of-distance-learning-evolution-infographic/>. Acesso em: 7 abr. 2022.

em casas, as perdas teriam sido muito maiores.

Destaca-se também o crescimento das plataformas de educação à distância como por exemplo o Coursera, edX e Khan Academy, que têm buscado revolucionar a oferta de educação por meio de *Massive Open Online Courses* (MOOCs⁵). Também ampliam o uso do aprendizado gamificado (World Economic Forum, 2022a).

Por fim, permanece a tendência identificada no livro *Megatendências Mundiais 2030*, de que a capacitação de recursos humanos será cada vez mais multidisciplinares e continuada suportada pelas tecnologias da informação e comunicação, permanecendo como componente essencial do desenvolvimento (Marcial et al., 2015).

6.3 Educação superior

A educação superior é outro ponto de grande debate em função do crescimento exponencial do conhecimento humano. Como já foi abordado, o que se aprendia antes nas universidades era a base para toda uma vida laboral. Cada vez mais isso deixará de ser verdade e as universidades terão que reinventar o ambiente de aprendizado em função da expansão do conhecimento, da digitalização e complementar a relação professor-aluno e aluno-aluno ao longo da vida do aluno (World Economic Forum, 2022a).

O fenômeno da expansão do conhecimento humano foi descrito, em 1983, pelo pensador Buckminster Fuller, criador da escala “*Knowledge Doubling Curve*”. Fuller afirmou que foram necessários 1500 anos para que o conhecimento humano duplicasse pela primeira vez, a partir do ano 1 DC. Em 1750, 250 anos depois do ano de referência, o conhecimento humano dobrou novamente. No período entre 1750 e 1900, a humanidade levava cerca de 100 anos para dobrar o conhecimento acumulado. Após a Segunda Guerra Mundial, esse tempo foi encurtado para a cada 25 anos. A estimativa existente é de que hoje em

5 MOOC – é um tipo de curso aberto oferecido por meio de ambientes virtuais de aprendizagem, ferramentas da Web 2.0 ou redes sociais que visam oferecer para um grande número de alunos a oportunidade de ampliar seus conhecimentos num processo de co-produção.

dia ele dobra a cada ano. Espera-se que chegue a 12 horas.⁶

Para atender às demandas futuras do mercado de trabalho, o ensino superior terá que mudar radicalmente e, para tanto, deverá ampliar sua capacidade de experimentação durante o processo de aprendizado. Destaca-se também que esse processo deve estar integrado como ambiente, ou seja, com a comunidade e as empresas locais. Permitir uma aprendizagem imersiva e experimental, na qual o aluno possa aplicar os conceitos aprendidos em sala de aula no mundo real, possibilitando o aprendizado em qualquer lugar, é o que se espera para o futuro (OCDE, 2021; World Economic Forum, 2022b).

Um fato portador de futuro⁷ seria a iniciativa da Tech School 42, uma escola experimental de programação em Paris, que oferece uma alternativa ao ensino universitário tradicional. Nessa escola, desde 2013, os alunos estudam e aprendem no próprio ritmo e sozinhos, as dúvidas são incentivadas a serem sanadas entre os próprios estudantes ou a encontrarem as respostas sozinhos (Bhargava, 2021).

Já se pode encontrar algumas iniciativas nesse sentido como é o caso da escola de negócios europeia, Esade.⁸ Em 2021, lançou um novo diploma de bacharel em que combina aulas realizadas no campus de Barcelona e experiências práticas imersivas, por meio de uma plataforma de aprendizado, ao tempo em que estimula os alunos a criarem seus próprios negócios. Esse também é um bom exemplo de ambiente híbrido. Espera-se que ambientes híbridos⁹ sejam desenvolvidos no ambiente universitário de forma que se possa aproveitar as vantagens que tanto a digitalização quanto o convívio presencial proporcionam. Nesse contexto, espera-se que a aprendizagem ocorra em todos os lugares, sejam eles formais ou informais (World Economic Forum, 2022).

Espera-se também que o processo de ensino/aprendizado saia do tradicional método do professor transferir, por meio de palestras ou

6 Darwinismo Digital e a curva de conhecimento de Buck Fuller, maio 2018. Disponível em: <https://fikaconversas.com.br/novas-palavras/darwinismo-digital-e-a-curva-de-conhecimento/>. Acesso em: 19 abr. 2022. Inovação requeitada. Abril, 2020. Disponível em: <https://www.aberje.com.br/coluna/inovacao-requeitada>. Acesso em: 19 abr. 2022.

7 Fato portador de futuro representa um sinal fraco existente no ambiente que porta imensas possibilidades futuras.

8 Esade. Disponível em: <https://www.esade.edu/en>. Acesso em 19 abr. 2022.

9 A aprendizagem híbrida não significa apenas combinar uma sala de aula virtual e física, mas permitir uma aprendizagem verdadeiramente imersiva e experiencial, permitindo que os alunos apliquem os conceitos aprendidos em sala de aula no mundo real (World Economic Forum, 2022).

aulas expositivas, o seu conhecimento para um aprendizado ativo, no qual os alunos constroem seu conhecimento e o professor atua como um mentor, um orientador. Em 2020, Paul Quinn College, uma universidade privada sediada no Texas, lançou o Honors Program¹⁰ cujo foco é o aprendizado totalmente ativo, combinado com estágios em empregadores regionais. Tal iniciativa proporciona aos alunos a oportunidade de aplicarem o conhecimento adquirido na universidade no mundo real (World Economic Forum, 2022).

O comportamento tradicional das universidades tem sido a de ensinar habilidades específicas envolvendo as tecnologias mais recentemente desenvolvidas, mesmo que essas habilidades e tecnologias se tornem obsoletas rapidamente. Espera-se que haja uma mudança para o ensino de habilidades que irão permanecer relevantes em um mundo em constante mudança. Entretanto, ainda não é possível afirmar que isso irá ocorrer até 2040. A identificação de quais seriam essas habilidades será um desafio a ser enfrentado por essas instituições de ensino. A Minerva University, com sede em São Francisco, identificou algumas dessas competências mais permanentes, como o pensamento crítico e o pensamento criativo, que já ensinam ao longo dos quatro anos de graduação e em todas as disciplinas, independentemente do curso que o aluno escolha seguir (World Economic Forum, 2022).

Espera-se também que haja uma mudança na forma de ingresso nas universidades ao redor do mundo, deixando de lado o uso de testes únicos padronizados para os de avaliações formais e informais ao longo da jornada de aprendizado dos candidatos. Esse tipo de iniciativa já ocorre, como por exemplo, na Escola Internacional de Genebra que lançou, recentemente, seu “*Learner Passport*”,¹¹ que inclui disciplinas voltadas para o desenvolvimento da criatividade, da responsabilidade e da cidadania. Nos Estados Unidos (EUA), um consórcio de escolas lançou o “*Mastery Transcript Consortium*”¹² que apresenta o histórico escolar do ensino médio, de forma mais holística relacionando as competências adquiridas pelos alunos.

As mudanças ocorrerão advindas de diversas áreas. Até mesmo no campo da acreditação, no qual as universidades possuem um grande

10 Honors College. Disponível em: <https://pqc-edu.squarespace.com/honors>. Acesso em: 19 abr.2022>.

11 Disponível em: <https://www.internationalschoolparent.com/articles/reinventing-high-school-transcripts-the-learner-passport/>. Acesso em 19 abr.2022.

12 Disponível em: <https://mastery.org/what-we-do/mastery-transcript/>. Acesso em: 19 abr. 2022.

poder, o avanço da digitização poderá colocar essa competência em xeque, com o crescimento do uso de tecnologias de micro-credenciamento (Micro-credentials) e “*certificates on the blockchain*” – oferecendo garantia de autenticidade ao diploma. Tais tecnologias fornecerão maiores condições aos alunos de decidirem o que, quando, como e onde aprender, e ter seus ganhos de aprendizagem reconhecidos de forma independente (OCDE, 2021).

No âmbito da União Europeia, já ocorre um movimento para o desenvolvimento de normas comuns que assegurem qualidade, transparência, comparabilidade transfronteiriça, reconhecimento e portabilidade às micro-credenciais. Isso porque cresce o número de pessoas que necessitam atualizar seus conhecimentos, habilidades e capacidades e preencher lacunas entre sua educação formal e as necessidades do mercado de trabalho em rápida mudança. Também é essencial a aquisição de novas competências que permitam uma participação ativa na sociedade.¹³

Dada a sua flexibilidade, às micro-credenciais podem ser concebidas e entregues por uma variedade de provedores em muitos ambientes de aprendizagem formal, não formal e informal. Foi nesse contexto que a abordagem europeia para micro-credenciais foi anunciada na Resolução do Conselho sobre um quadro estratégico para a cooperação europeia em educação e formação para o Espaço Europeu da Educação e para além (2021-2030), na Agenda Europeia de Competências e no Plano de Ação de Educação Digital (2021-2027).¹⁴

Considerando todo esse contexto, a tendência é de sofisticação da educação universitária, incluindo a possibilidade de ocorrência de uma ruptura no modelo de educação superior, a qual passaria a ser à distância e com turmas globais. A universidade física passaria a ser utilizada como ambiente de experimentação conjugada com outros ambientes.

6.4 Qualidade da educação

Os resultados dos programas educacionais no mundo inteiro vêm sendo questionados. *Experts*, que participaram da pesquisa realizada em 2021 sobre megatendências mundiais 2040, apresentam a

13 Disponível em: <https://education.ec.europa.eu/education-levels/higher-education/micro-credentials>. Acesso em: 19 abr. 2022.

14 Disponível em: <https://education.ec.europa.eu/education-levels/higher-education/micro-credentials>. Acesso em: 19 abr. 2022.

percepção de que há redução dos níveis de educação no mundo (Marcial et. al., 2021). O Programa Internacional de Avaliação de Alunos (Pisa), que gera indicadores sobre a qualidade educacional nos países participantes, mostra que o desempenho médio em leitura, matemática e ciências permaneceu o mesmo entre 2015 e 2018. Individualmente, entre 2015 e 2018, houve melhora no desempenho médio em leitura em alguns países (China, República da Macedônia do Norte, Singapura e Turquia), diminuição em 13 países/economias, e manteve-se estável nos restantes 46 países/economias. No mesmo período, a distribuição do desempenho em leitura e matemática aumentou, em média, entre os países da OCDE; mas em ciência não houve mudança significativa.¹⁵

Além disso, o aumento da desigualdade e da qualidade educacional entre as classes sociais também foi apontado como tendência, bem como a possível redução da inteligência média da humanidade como resultado da redução das habilidades e capacidades cognitivas, por conta do baixo nível educacional e pelo uso das tecnologias poupadoras de raciocínio crítico e analítico por parte de determinados profissionais.

Os sistemas educacionais estão sendo permanentemente desafiados a ofertarem melhor qualidade de ensino/aprendizado, igualdade de oportunidades, inclusão social, eficiência e inovação. Entretanto, muitos países enfrentam obstáculos e desafios crescentes. Em muitos dos casos, a infraestrutura física desatualizada, originária dos primórdios da expansão educacional, restringe as formas modernas de aprendizagem.

A busca por eficiência é um desafio para os sistemas que lutam para melhorar a produtividade. Novas formas mais econômicas e eficientes devem ser implementadas para que a produtividade da educação avance, entretanto, não é possível afirmar que isso irá ocorrer até 2040.

O crescimento da compreensão de como ocorre a aprendizagem humana irá contribuir significativamente com a melhora da educação. Espera-se avanços nesta área, fruto dos avanços no campo da inteligência artificial (Kaku, 2015). Projetos como BRAIN,¹⁶ lançado por Obama, ex-presidente Estados Unidos, e o Human Brain Project,¹⁷ em

15 Chapter 8. Where did performance change between 2015 and 2018? Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/4269cdda-en/index.html?itemId=/content/component/4269cdda-en>. Acesso em: 19 abr. 2022.

16 Breakthrough Research And *Innovation* in Neurotechnology (Pesquisa de ponta e inovação em neurotecnologia – BRAIN, na sigla em inglês. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/ciencia/obama-lanca-programa-para-mapear-cerebro-humano/>. Acesso em: 19 abr. 2022.

17 Disponível em: <https://www.humanbrainproject.eu/en/>. Acesso em: 19 abr. 2022.

desenvolvimento pela União Europeia ampliarão os conhecimentos no campo da neurociência e abrirão um novo campo de pesquisa empírica sobre o processo de aprendizagem. Entretanto, esses avanços ainda estão distantes das esferas tradicionais da ciência da educação e provavelmente ainda percorrerão um longo caminho até o atingimento da maturidade. Sendo assim, é esperado um crescimento do conhecimento do funcionamento do cérebro e da neurociência, entretanto, não é possível saber o quanto será apropriado pelos sistemas educacionais ao redor do mundo para a melhoria da qualidade da educação até 2040.

Os avanços da pesquisa neurocientífica sobre aprendizagem também mostram que as competências são construídas com base em sólidos conhecimentos prévios. A memorização inteligente e a prática de recuperação mostram-se muito eficazes na promoção do domínio das áreas temáticas. O crescimento da educação por competências poderá alterar o paradigma educacional dominado pela reprodução do conhecimento da matéria, proporcionando um aprendizado integrado e equilibrado.

Segundo estudo da OCDE (2021), uma nova ciência da aprendizagem está surgindo, baseada na integração interdisciplinar da pesquisa em neurociência, psicologia cognitiva e muitas disciplinas científicas relacionadas, incluindo IA. Descobertas importantes estão surgindo neste campo, e muitos estão tentando traduzi-las em políticas e práticas educacionais. Espera-se que progressivamente haja melhora na compreensão da aprendizagem humana e sua apropriação aos processos de aprendizado em sala de aula e nas escolas.

Os avanços na pesquisa científica sobre a aprendizagem humana sinalizam a interação entre desenvolvimento cognitivo, motivação para a realização, mentalidade de crescimento e bem-estar. Nesse contexto, nos últimos anos, o bem-estar dos alunos tornou-se uma dimensão importante da escolarização para que haja condições motivacionais para a aprendizagem.

No futuro, espera-se que a pesquisa sobre aprendizagem inspire novos princípios de *design* para ambientes de aprendizagem, e de apoio, mais eficazes. Os futuros ambientes de aprendizagem se concentrarão no desenvolvimento da agenda do aluno e redefinirão os papéis dos professores e educadores. O redesenho do currículo também se beneficiará de novos *insights* sobre a aprendizagem humana, incluindo *insights* sobre os blocos de construção e períodos sensíveis do desenvolvimento cognitivo (OCDE, 2021; World Economic Forum, 2022a).

Segundo Harari (2021), muitos especialistas em pedagogia afir-

mam que as escolas deveriam focar no desenvolvimento de habilidades e capacidades com foco nos quatro “C” – pensamento crítico, comunicação, colaboração e criatividade. No futuro, haverá a necessidade de se aprender a lidar com as mudanças que surgirão e estar aberto e apto para aprender coisas novas. Encontrar o equilíbrio certo entre o conhecimento do assunto e as capacidades de pensamento que fundamentam e enquadram as disciplinas continuará sendo um desafio importante para a educação, mesmo sem uma sinalização clara de qual será o futuro.

Para que haja melhoria na educação, será necessário que as escolas mudem radicalmente sua forma de trabalho, seus ambientes, bem como a formação dos professores e gestores escolares. O uso da tecnologia, em especial as digitais, pode contribuir com esse processo, até porque professores competentes poderão compartilhar seus conhecimentos com alunos do mundo inteiro, bem como poderão compartilhar práticas educacionais de sucesso com seus pares. Poderão ajudar os líderes do sistema educacional e os governos a desenvolverem e compartilhar as melhores práticas em torno de projetos de novos currículos, políticas e métodos pedagógicos. Também poderão ser utilizados como instrumento para reparar os danos de aprendizagem causados pelos dois anos de pandemia, visto que, com o retorno às aulas, muitos alunos têm necessitado de suporte e de reforço, e as “ferramentas digitais” poderão contribuir com esse processo. Entretanto, não se pode afirmar que esse movimento ocorrerá em todo mundo até 2040.

Essas tecnologias apresentam potencial de impulsionar a inovação na educação resultando na melhora de sua qualidade. Entretanto, esse processo caminhava lentamente até o advento da pandemia, muito pela resistência dos professores, pela falta de apoio das instituições de ensino, pela abordagem simplista e pela falta de insumos científico-pedagógicos tanto no *design de softwares* quanto nos materiais didáticos, dentre outros (OCDE, 2021).

Com o advento da pandemia, essa situação precária veio à tona e os professores tiveram que inovar, muitos sozinhos, e com o processo em andamento. Tal movimento mostrou o quanto o envolvimento dos profissionais da educação é importante para que a inovação ocorra no processo de ensino-aprendizado e como eles podem contribuir significativamente com o fornecimento de soluções específicas para necessidades diversificadas de acordo com o perfil do aluno.

Uma das vantagens do uso das tecnologias digitais é que elas não atendem somente às necessidades de alunos e educadores individuais, mas podem contribuir com a formação de um ecossistema de

aprendizagem baseado na colaboração, orientada para os objetivos, a motivação, a persistência e o desenvolvimento de estratégias de aprendizagem eficazes (OCDE, 2021).

A melhoria dos resultados do sistema educacional também passa pelo desenvolvimento da aprendizagem ao longo da vida do estudante, de forma que ele se torne agente de seu próprio aprendizado. Para tanto, os sistemas educacionais deverão ser capazes de fornecer oportunidades para os alunos aprenderem a aprender. Que forneçam orientação, apoio e os instrumentos para que esses possam assumir a propriedade e a responsabilidade de projetar suas próprias trajetórias de aprendizagem, combinando educação formal e não formal institucionalizada com aprendizagem autodirigida e autônoma. Segundo Harari (2021), além de *aprender a aprender*, será necessário se reinventar o tempo todo, seja nas idades mais jovens ou nas mais avançadas. Entretanto, não se pode afirmar que haverá o empoderamento dos alunos na construção de sua própria trajetória de aprendizagem até 2040 ao redor do mundo.

Embora a aprendizagem autônoma, autodirigida e apoiada por tecnologia se torne muito mais prevalente no futuro, a aprendizagem é uma experiência social que acontece por meio de interações entre o aluno e outras pessoas, incluindo colegas, educadores, tutores, mentores e instrutores. Nesse contexto, os professores desempenham o importante papel de proporcionar ambientes e processos que apoiam o aprendizado por meio de uma variedade de meios.

Segundo estudo desenvolvido pela OCDE (2021), esses profissionais necessitam de profundo conhecimento, experiência e compreensão do conteúdo que ensinam e como os alunos aprendem. Eles precisam saber como apoiar a aprendizagem por meio de instrução, facilitação e *coaching*. O desenvolvimento contínuo de professores como profissão configura-se como um importante objetivo de política pública, bem como recrutar e reter os melhores profissionais. O estabelecimento de estruturas de carreira atraentes com compensação financeira adequada; regular as condições de trabalho; e salvaguardar a atratividade, a reputação e a confiança social na profissão docente são desafios dos sistemas educacionais ao redor do mundo. Entretanto, não é possível afirmar que esses professores estarão disponíveis ao redor do mundo com esse perfil até 2040. Se houver políticas públicas voltadas para o recrutamento e retenção dos melhores profissionais. Bem como se haverá o estabelecimento de estruturas de carreira atraentes com compensação financeira adequada, e regulação das condições de trabalho. Caso não haja melhorias os professores que atuam em áreas

de formação do ensino de exatas, vão migrar para outras profissões que remunerem melhor? Até o ano de 2040, poderá haver escassez de professores nos ensinos públicos e privados, devido à falta de incentivo de salário mais atrativos em países em desenvolvimento, levando o setor a repensar como mediar o conhecimento dos alunos da educação básica ao ensino superior?

Da mesma forma que a economia da inovação avança, os sistemas educacionais deverão inovar também para se manterem prestando serviços educacionais à sociedade. A inovação nos sistemas educacionais pode melhorar seus resultados, a relação custo-benefício e a equidade. Entretanto, deverá ser realizada com parcimônia visto que no passado muitas das mudanças implementadas foram contraproducentes, gerando resistência em muitos profissionais de ensino, em especial aquelas implementadas de cima para baixo. Nesse contexto, a construção de um sistema de informação alimentado por pesquisas científicas, dados e análises é essencial para desenvolver a base de evidências para políticas e orientar a inovação e a experimentação (OCDE, 2021). Cabe destacar também que os sistemas educacionais ao redor do mundo são, em geral, anacrônicos. Segundo levantamento realizado pela OCDE (2021, tradução nossa):

[...] parte da base de conhecimento usada por professores, líderes escolares e formuladores de políticas está desatualizada; a pesquisa educacional é limitada em quantidade e qualidade; e mecanismos adequados de transferência de conhecimento, disseminação e tradução em políticas e práticas são subdesenvolvidos. Isso tem consequências importantes para a qualidade e eficiência das experiências de aprendizagem e para a produtividade dos investimentos educacionais.

Logo, não é possível saber se, até 2040, tais sistemas de informação serão construídos e utilizados para promover inovação nos sistemas educacionais.

Nas últimas décadas, os sistemas educacionais se expandiram sem uma compreensão completa do melhor *design* possível dos sistemas de aprendizagem. Por exemplo, só recentemente economistas e psicólogos passaram a compreender a importância de apoiar a aprendizagem precoce com ambientes pedagógicos institucionais adequados de aprendizagem. Outras áreas de importância emergente incluem a ciência da aprendizagem de línguas e o desenvolvimento de conceitos

numéricos. Abordagens didáticas antigas estão sob escrutínio à medida que nossa compreensão dos processos de aprendizagem humana melhorou. Mobilizar os melhores conhecimentos e evidências de pesquisas disponíveis sobre aprendizagem e traduzi-los como *insights* e formatos relevantes para as políticas, é importante para melhorar e inovar a educação (OCDE, 2021).

A tendência do conhecimento instantâneo, descrita por Bhargava (2021), é outro ponto que merece destaque e que afeta diretamente a qualidade da educação. Com o crescimento da aquisição de conhecimento aos bocados, por meio de vídeos curtos assistidos na internet sobre vários assuntos, sendo muitos sem a qualidade e grau de profundidade que a matéria demanda, corre-se o risco de se perder a maestria e a sabedoria sobre algo, por não analisar e desenvolver uma compreensão profunda sobre nenhuma matéria ou tema. Quando não há esforço na aquisição de um conhecimento as perdas podem ser grandes, obtendo-se como resultado uma geração menos inteligente, e a redução de habilidades e capacidades, principalmente cognitivas, pelo uso de tecnologias poupadoras de raciocínio crítico e analítico, em função do crescimento da cultura do atalho, conforme argumentado por Bhargava (2021) e apontado por *experts* (Marcial et al., 2021).

Por fim, dado o exposto, somente uma ruptura no sistema educacional mundial pode resultar na oferta de educação de qualidade para todos.

6.5 Educação e desigualdade social

Por muitos anos, a educação foi o vetor mais importante de melhoria de vida de uma pessoa e de seus filhos. No entanto, nos últimos anos, em vários países da OCDE, a mobilidade social ascendente tornou-se mais difícil de ser alcançada. Além disso, o medo da mobilidade social descendente difunde-se pela classe média. Grande parte da população parece acreditar que o contrato social do Estado de bem-estar social do século XX, do qual a educação pública é um componente importante, acabou ou não serve mais aos seus interesses (OCDE, 2021). Nesse contexto, não se sabe se o sistema educacional formal continuará sendo importante para garantir o crescimento futuro, a prosperidade, o progresso social e a qualidade de vida geral para todos. Entretanto, certamente sem acesso à igualdade de educação básica não resultará em igualdade de oportunidades na vida (World Economic Forum, 2022a).

A expansão dos sistemas educacionais na segunda metade do século XX ocorreu com essa esperança de melhoria de vida, mas quando o motor da mobilidade social começa a falhar, a confiança nos sistemas escolares se reduz e, em especial os jovens de origens vulneráveis passam a questionar se devem investir tempo e energia na escolarização. Além disso, a pandemia aumentou significativamente a desigualdade na educação. O fechamento das escolas fez com que as classes sociais mais altas recorressem à educação a distância e ao *homeschooling*. Famílias ricas investiram em esforços compensatórios, educação paralela e aulas particulares. Muitos desses alunos obtiveram até melhoria em seus aprendizados, enquanto os alunos mais vulneráveis e desfavorecidos financeira e culturalmente não tiveram a mesma sorte (OCDE, 2021).

Vários foram os fatores que contribuíram para que os alunos desfavorecidos enfrentassem dificuldades no processo ensino/aprendizado, são eles: a falta de recursos suficientes para o ensino em casa e educação a distância; a ausência de acesso à Internet e locais tranquilos para estudar; a falta de ferramentas digitais eficazes; a deficiência no apoio e orientação dos pais; a ausência de relações eficazes entre escolas e famílias; e a falta de apoio profissional adequado para os professores. Todos esses elementos resultaram em uma educação precária durante o período da pandemia. Além disso, quando as escolas fecham, as redes de apoio social falham, o que aumenta ainda mais a vulnerabilidade desses alunos. A pandemia amplificou os problemas de equidade existentes em alguns sistemas educacionais e hoje estão sendo fortemente afetados pela crise pós-pandemia (OCDE, 2021). Esse grupo corre o risco de ficar isolado e mais para trás (OCDE, 2021). Nesse contexto, a desigualdade educacional acentuada pelo evento da pandemia do COVID-19 permanecerá até 2040?

A busca por uma educação inclusiva tem sido uma tendência dos sistemas educacionais ao redor do mundo, bem como a erradicação do analfabetismo entre crianças, jovens e adultos. A equidade na educação e na aprendizagem está no topo da agenda política. Entretanto, o contexto familiar afeta as trajetórias educacionais, o sucesso e o fracasso e o lugar dos indivíduos nas hierarquias sociais. Isso sugere investimentos muito mais amplos em ambientes educacionais que atendem alunos que têm menos investimento educacional em suas casas e comunidades. Além disso, segundo relatório da UNESCO¹⁸ (2020), menos de 10% dos países têm leis que ajudam a garantir a inclusão total em seus sistemas

18 Unesco – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura.

educacionais. De acordo com a UNICEF¹⁹ (2019), mais de 175 milhões de crianças em todo o mundo não recebem educação pré-primária e a desigualdade em termos de acesso continua alta, principalmente entre os pobres e desfavorecidos.

Em uma economia baseada no conhecimento, o custo macrosocial da exclusão educacional é muito alto, devido ao desperdício de talento e ao custo futuro do fracasso educacional para os sistemas de proteção e bem-estar social. Nesse contexto, cresce o debate do conceito de inclusão na educação nos debates acadêmicos e políticos. Até o ano de 2040 os países que estão em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, conseguirão garantir o direito de acesso gratuito e de qualidade a internet para possibilitar uma maior qualidade no acesso à educação tecnológica da educação básica ao ensino superior? O ensino público será privatizado, onde o acesso gratuito à educação deixará de ser obrigatório?

Síntese das Sementes de futuro

- Permanência da importância das instituições de ensino físicas como locus de socialização, de desenvolvimento cognitivo e de redução das desigualdades. (Tendência)
- Crescimento do ensino a distância em todo o mundo. (Tendência)
- No ambiente universitário haverá prevalência de ambientes híbridos. (Surpresa inevitável)
- Até 2040, o modelo híbrido, que conjugue atividades presenciais e a distância, será o modelo predominante até 2040? (Incertezas)
- Os currículos escolares se tornarão mais dinâmicos, sendo atualizados e adaptados regularmente, acompanhando a evolução do mercado de trabalho. (Surpresa inevitável)
- Com o avanço da economia da inovação, os sistemas educacionais também inovarão para se manterem prestando serviços à sociedade. (Surpresa inevitável)
- A pesquisa sobre aprendizagem irá inspirar novos princípios de *design* de ambientes de aprendizagem eficazes e de apoio. (Surpresa inevitável)
- Os avanços da pesquisa neurocientífica sobre aprendizagem. (Tendência)
- Os avanços da neurociência serão apropriados pelos sistemas edu-

19 UNICEF – Fundo das Nações Unidas para a Infância.

cacionais ao redor do mundo para a melhoria da qualidade da educação e dos retornos dos sistemas educacionais, até 2040? (Incerteza)

- Surgirá uma nova ciência da aprendizagem, baseada na integração interdisciplinar da pesquisa em neurociência, psicologia cognitiva e muitas disciplinas científicas relacionadas, incluindo IA. (Surpresa inevitável)
- Até 2040, novas formas mais econômicas e eficientes de ensino serão implementadas para que a produtividade da educação avance? (Incerteza)
- O uso da IA mudará fundamentalmente as formas, os canais e os processos pelos quais aprendemos. (Surpresa inevitável)
- As “ferramentas digitais” serão amplamente utilizadas como instrumentos de apoio ao aprendizado em todo mundo até 2040? (Incerteza)
- Até 2040, novas metodologias de ensino serão disseminadas ao redor do mundo, passando a fazer parte das metodologias de ensino aprendizado? (Incerteza)
- Ampliação do uso do aprendizado gamificado. (Tendência)
- A aprendizagem será imersiva e experimental, na qual o aluno poderá aplicar os conceitos aprendidos em sala de aula no mundo real, possibilitando o aprendizado em qualquer lugar. (Surpresa inevitável)
- Até 2040, haverá um retorno há métodos anteriormente utilizados como memorização e outras receitas que foram bem-sucedidas no passado, já que o modelo atual falhou? (Incerteza)
- Até 2040, haverá o crescimento do uso de metodologia educacional globalizada, preservando a cultura local, a educação focada nas habilidades e capacidades individuais das crianças? (Incerteza)
- O processo de ensino/aprendizado sairá do tradicional método do professor transferir, por meio de palestras e exposição oral, o seu conhecimento para um aprendizado ativo no qual os alunos constroem seu conhecimento e o professor atua como um mentor, um orientador. (Surpresa inevitável)
- Manutenção do aprendizado continuado. (Tendência)
- Crescimento da necessidade de se ensinar a aprender. (Tendência)
- Os currículos escolares se tornarão mais dinâmicos, sendo atualizados e adaptados regularmente, acompanhado e evolução do mercado de trabalho. (Surpresa inevitável)
- O redesenho do currículo se beneficiará de novos *insights* sobre a

aprendizagem humana, incluindo *insights* sobre os blocos de construção e períodos sensíveis do desenvolvimento cognitivo. (Surpresa inevitável)

- Manutenção do comportamento tradicional das universidades de ensinarem habilidades específicas envolvendo as tecnologias mais recentemente desenvolvidas, mesmo que essas habilidades e tecnologias se tornem obsoletas rapidamente. (Tendência)
- O pensamento crítico e considerações éticas para o uso da tecnologia farão parte do currículo básico. (Surpresa inevitável)
- Crescimento da demanda pelo aprendizado de idiomas e de habilidades digitais e em ciências, tecnologia, engenharia e matemática. (Tendência)
- As trajetórias de aprendizagem se tornarão mais complexas e diversificadas ao longo da vida, exigindo cada vez mais transformações metodológicas e tecnológicas integradas ao processo ensino/aprendizado. (Tendência)
- Capacidades e habilidades sociais como criatividade, liderança e flexibilidade, bem como resolução de problemas complexos, pensamento crítico e colaborativo serão cada vez mais demandas. (Tendências)
- Espera-se que haja uma mudança para o ensino de habilidades que irão permanecer relevantes em um mundo em constante mudança. (Surpresa inevitável)
- Até 2040, com o avanço da automação, quais as habilidades permanecerão “humanas”? (Incerteza)
- Inserção da robótica, inteligência artificial, realidade virtual, lógica e programação nos currículos básicos e profissionalizantes. (Surpresa inevitável)
- A capacitação de recursos humanos será cada vez mais multidisciplinar e continuada suportada pelas tecnologias da informação e comunicação, permanecendo como componente essencial do desenvolvimento. (Tendência)
- Até 2040, a maior parte das instituições de ensino terão implementado a aprendizagem por competências? (Incerteza)
- Até 2040, a maioria das instituições de ensino ao redor do mundo, sejam elas públicas ou privadas de ensino fundamental, médio ou superior, estará renovada e adaptada para viabilizar o aprendizado das gerações futuras, conforme demandado pelo mercado de trabalho? (Incerteza)
- Mudança na forma de ingresso nas universidades ao redor do mun-

do, deixando de lado o uso de testes únicos padronizados para os de avaliações formais e informais ao longo da jornada de aprendizado dos candidatos. (Surpresa inevitável)

- Até 2040, o ensino público será privatizado, onde o acesso gratuito à educação deixará de ser obrigatório? (Incerteza)
- Um novo modelo de acreditação irá emergir, a exemplo das certificações, nano diplomas, dentre outros. (Surpresa inevitável)
- Serão construídos e utilizados sistemas de informação escolares para promover inovação nos sistemas educacionais até 2040? (Incerteza)
- Mudança nas políticas públicas voltadas para a educação ao redor do mundo impulsionada pelo avanço da digitalização e da inteligência artificial (IA), pressionados pela nova natureza dos empregos e do local de trabalho, que demandarão novas competências. (Surpresa inevitável)
- Até 2040, haverá políticas públicas voltadas para o recrutamento e retenção dos melhores professores nos sistemas educacionais ao redor do mundo? (Incerteza)
- Mudança no modelo educacional em todo o mundo para o atendimento às demandas do século XXI, rompendo com o modelo de educação de 100 anos atrás. (Surpresa inevitável)
- Até 2040, haverá escassez de professores nos ensinos públicos e privados, devido à falta de incentivo de salário mais atrativos em países em desenvolvimento, levando o setor a repensar como mediar o conhecimento dos alunos da educação básica ao ensino superior? (Incerteza)
- Caso não haja melhorias nas condições de trabalho até 2040, os professores que atuam em áreas de formação do ensino de exatas, vão migrar para outras profissões que remunerem melhor? (Incerteza)
- Até 2040, haverá o estabelecimento de estruturas de carreira atraentes com compensação financeira adequada, regulação das condições de trabalho? (Incerteza)
- Até 2040 estarão disponíveis ao redor do mundo professores com profundo conhecimento, experiência e compreensão do conteúdo que ensinam e como os alunos aprendem? (Incerteza)
- Até 2040, haverá uma redução da confiança e dos investimentos nos sistemas educacionais ao redor do mundo? (Incerteza)
- A aprendizagem autônoma, autodirigida e apoiada por tecnologia será muito mais prevalente no futuro. (Surpresa inevitável)

- Crescimento da cultura do atalho nos processos de obtenção de conhecimento e da busca por conhecimento instantâneo. (Tendência)
- Redução da inteligência média da humanidade como resultado da redução das habilidades e capacidades cognitivas, por conta do baixo nível educacional e pelo uso das tecnologias poupadoras de raciocínio crítico e analítico por parte de determinados profissionais. (Tendência)
- O aprendizado humano continuará sendo importante para garantir o crescimento futuro, a prosperidade, o progresso social e a qualidade de vida geral para todos até 2040? (Incerteza)
- Até 2040, os sistemas educacionais ao redor do mundo serão capazes de mudar rapidamente, ajustando-se a essa nova realidade? (Incerteza)
- Aumento da desigualdade e da qualidade educacional entre as classes sociais. (Tendência)
- A desigualdade educacional acentuada pelo evento da pandemia do COVID-19 permanecerá até 2040? (Incerteza)
- Haverá o empoderamento dos alunos na construção de sua própria trajetória de aprendizagem até 2040 ao redor do mundo? (Incerteza)
- Os futuros ambientes de aprendizagem se concentrarão no desenvolvimento da agência do aluno e redefinirão os papéis dos professores e educadores. (Surpresa inevitável)
- Permanência do desalinhamento das instituições educacionais com as necessidades demandadas pelo mercado de trabalho. (Tendência)

Referências

BHARGAVA, R. Não óbvio: como antecipar tendências e dominar o futuro. São Paulo Buzz, 2021.

HARARI, Y.N. 21 lições para o século 21. São Paulo: Companhia das Letras, 2021.

KAKU, Michio. O futuro da mente: a busca científica para entender, aprimorar e potencializar a mente. Rio de Janeiro: Rocco, 2015.

OECD. (2021). Future of Education and *Skills* 2030: The new “normal” in education. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=9YNDnkph_Ko. Acesso em 31 mar. 2022.

UNESCO. Global Education Monitoring Report 2020: Inclusion and education. 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3xCZ4Jg>. Acesso em: 19 abr. 2022.

UNICEF. 2019. A world ready to learn: Prioritizing quality early chil-

dhoo education. Disponível em: <https://www.unicef.org/reports/a--world-ready-to-learn-2019>. Acesso em 19 abr. 2022.

World Economic Forum. Education, *Skills* and Learning. Geneve: WEF, 2022a. Disponível em: <https://intelligence.weforum.org/topics/a1Gb0000000LPPfEAO/key-issues/a1Gb000000015QJoEAM>. Acesso em 19 abr. 2022.

World Economic Forum. 4 trends that will shape the future of higher education. Genebra: WEF. Fev. 2022b. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2022/02/four-trends-that-will-shape-the-future-of-higher-education/>. Acesso em 19 abril. 2022.

Capítulo 6

Consumidor do futuro

Por Livia Abreu¹

¹ Livia Abreu Torres, Mestre em Administração Estratégica, Mestre em *Marketing*. Analista da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Pesquisadora convidada do Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos da Universidade Católica de Brasília (NEP-UCB).

Consumidor do futuro

A previsão de crescimento da classe média global em 2030 é de 5,3 bilhões de pessoas, um aumento de 2 bilhões de indivíduos com maior poder de compra e desejo por consumir em relação a 2016 (Fiesp, Ciesp, 2022). Além da renda, o crescimento da urbanização, educação, digitalização e preocupação com o *meio ambiente*, deverão provocar impactos no consumo. Sinais e tendências apresentados a seguir revelam perfis emergentes e comportamentos que tendem a se consolidar nos próximos anos, antevendo mudanças e oportunidades.

A pandemia da COVID-19 acelerou a digitalização das empresas, migrando experiências de consumo para o ambiente digital, trazendo rupturas e novas possibilidades de interação com o consumidor. Plataformas digitais seguirão alterando o comércio tradicional, potencializando a personalização, a customização e o envolvimento de usuários no processo de criação, a co-criação (Fiesp, Ciesp, 2022).

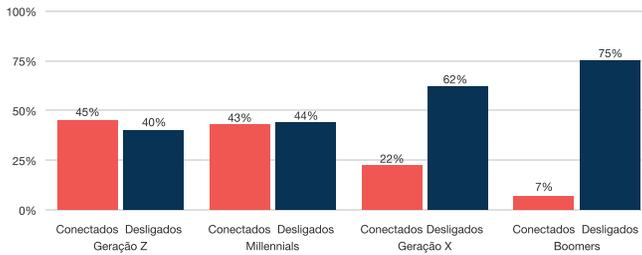
A tecnologia continuará alterando o modelo atual de consumo e uma das principais apostas é a fusão entre o mundo físico e o digital: o *phygital*. Dispositivos tecnológicos que rastreiam comportamentos, integram dados e informações continuarão sendo utilizados para aperfeiçoar experiências de compra. A realidade aumentada e a realidade virtual, muito provavelmente, causarão impactos disruptivos, ajudando a formar novos hábitos, impactando trabalho, aprendizagem, compra e socialização, nos impulsionando cada vez mais para a realidade *phygital* (Euromonitor, 2021).

A ascensão de “mundos virtuais” é resultado da crescente importância da vida virtual. A Figura 6.1 mostra que consumidores da geração “Z” se sentem melhor no mundo virtual do que fora dele (Figura 6.1). Mais da metade das crianças nos Estados Unidos já utilizam jogos e aplicativos como Roblox, Fortnite e Zepeto, são exemplos de *startups* com centenas de milhões de usuários que tiveram grande crescimento nos últimos anos (CBInsight 2022). O mercado de vídeo games é de fato uma tendência crescente (Figura 6.2) e os investimentos realizados pela Microsoft nos últimos 10 anos (Statista, 2022), somados à aquisição da empresa de vídeo game Activision Blizzard King no valor de US\$ 68,7 bilhões, são evidências do seu futuro promissor (Figura 6.3).

Figura 6.1 – Geração “Z”¹ de consumidores se sentem melhor no mundo virtual

Mais consumidores da Geração Z dizem que se sentem mais "online" do que "offline"

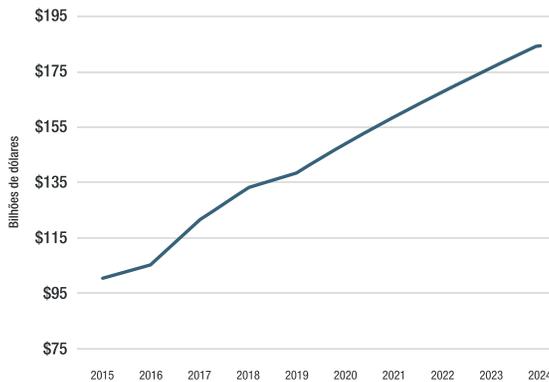
Percentagem de respostas por geração:
Onde você se sente mais como você mesmo?



Fonte: O Novo Consumidor

Figura 6.2 – Venda global de videogames

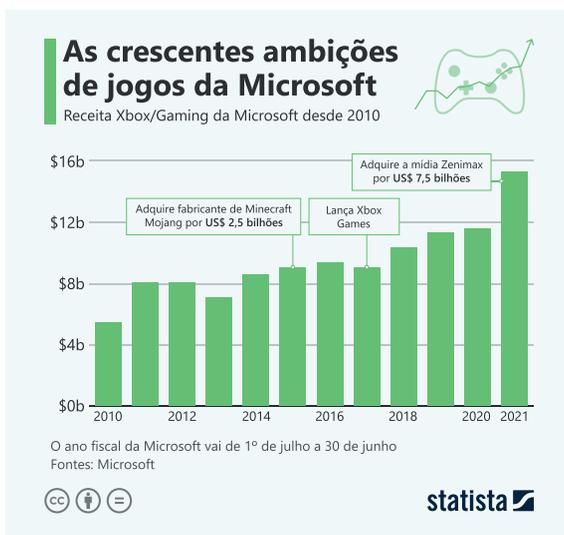
Vendas globais de videogames



Fonte: Euromonitor Internacional (2021).

¹ Formada por pessoas nascidas a partir de 1993, a “geração Z” possui como uma de suas características mais marcantes a íntima relação com a tecnologia, internet e com o meio digital, são também conhecidos como “nativos digitais” (Maurer, 2013).

Figura 6.3 – Crescimento na venda de jogos da Microsoft



Fonte: Statista (2022).

O formato de vendas *online* atual ficará ultrapassado, especialmente para as gerações mais novas e, segundo especialistas, é nesse vácuo que o metacomércio² deve avançar. Grandes empresas como Microsoft, Meta, Nike, Carrefour, Gucci e Alibabá já participam desse mercado, mas acredita-se que a os avanços tecnológicos, especialmente a chegada da rede 5G, combinados com ferramentas de Realidade Virtual e Realidade Ampliada proporcionarão um crescimento exponencial e rupturas (Fiesp, Ciesp, 2022). À medida que cresce a importância dos “eus virtuais” cresce também o potencial de venda para avatares (“*direct-to-avatar*” – D2A) descortinando oportunidades para marcas de moda e varejistas (CHInsight, 2022).

Em 2020, o mercado do metaverso global foi de US\$ 47,69 bilhões e a expectativa é de registro de uma taxa de crescimento anual (Compound Annual Growth Rate – CAGR) de 43,3% até 2028. Apesar da presença de grandes organizações, o segmento ainda está muito

² Metacomércio, ou metacommerce refere-se a uma plataforma proveniente do metaverso e do *e-commerce*, um espaço virtual hiper-realista onde o cliente poderá ter uma experiência imersiva no universo do marca, visitando uma loja e experimentando seus produtos e serviços, tal como faz no mundo real. Disponível em: <https://www.meioemensagem.com.br/home/opiniaio/2022/06/09/bots-serao-vitais-para-a-expansao-do-metacommerce.html>.

concentrado, havendo poucos *players* respondendo pela maioria da sua receita (METAVERSE..., 2021).

A Inteligência Artificial Aplicada atingirá crescente grau de desenvolvimento e sofisticação junto ao consumidor. Sua utilização em máquinas para reconhecer padrões será cada vez mais comum, a fala gerada por IA estará por trás de mais de 50% das interações das pessoas com computadores em 2024 (*World Economic Forum*, 2021). Robôs movidos a IA permearão o universo de consumo, passando a fazer tarefas antes realizadas por humanos (Angus, Westbrook, 2020), sua aceitação na sociedade será cada vez maior. Segundo a Euromonitor (2021), 44% dos consumidores se sentiriam à vontade para receber uma entrega via *drone* ou robô.

Impulsionado principalmente pelo telefone celular, o comércio móvel tem se expandido em todo o mundo, estima-se que 1 em cada 3 consumidores globais selecione seu celular como o canal preferido ao comprar produtos. Já entre as geração “Z” e “*millennials*”,³ 50% afirmam que nunca vão às compras sem usar seu celular (Global Report, 2021).

O comércio móvel criará oportunidades para empresas integrem inúmeros canais de compra (*offline e online*), conectando compras e interações sociais (Global Report, 2021), podendo atender seus clientes de forma mais eficaz a qualquer hora e qualquer lugar, emergindo, assim, uma cultura de atendimento 24 horas.

6.1 Privacidade dos dados

Apesar do desejo por serviços e produtos customizados, os consumidores estão cada vez mais cautelosos em fornecer informações pessoais, emergindo o conceito de personalização privada. A maior conscientização sobre a segurança dos dados, juntamente com o aumento de rigorosas legislações nesse campo (a exemplo do Regulamento Geral de Proteção de Dados da União Europeia (UE), ou GDPR⁴), exigirão que empresas ajustem suas estratégias e priorizem a privacidade do consumidor (CBInsights, 2022).

Startups de privacidade do consumidor têm crescido em termos

3 Os “Millennials”, ou “Geração Y”, nascidos entre 1978 e 1992, cresceram sob influência tecnológica, quando os primeiros videogames, telefone celular e internet surgiram (Maurer 2013).

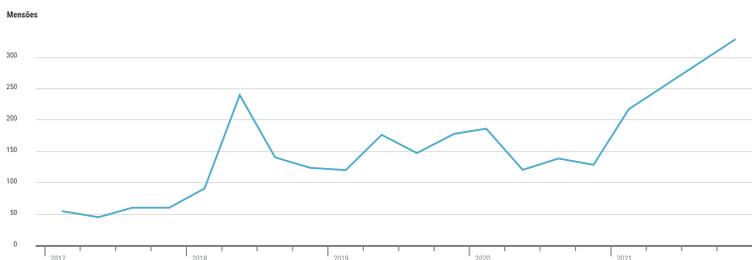
4 Disponível em: <https://gdpr-info.eu/> Acesso em outubro 2022.

de importância, volume e financiamento (Figura 6.4). Empresas como a OneTrust foram avaliadas, em 2020, em US\$ 5,1 bilhões, a LogicGate elevou em 2021 seu financiamento para US\$ 158 milhões e a BigID, para US\$ 246 milhões. A pressão por mudanças também têm atingido gigantes do mundo digital, em 2021, a Apple lançou seu recurso App Tracking Transparency, permitindo que os usuários desativem o rastreamento de anúncios para determinados aplicativos; a Google anunciou que irá eliminar gradualmente cookies de terceiros e lançará um *Privacy Sandbox*, permitindo conciliar anúncios personalizados e privacidade dos usuários (CBInsights, 2022).

A expectativa é de que essas mudanças impactem o mercado de publicidade e propaganda, gerando perdas maciças. De acordo com o Google, os editores que não adotarem medidas mitigadoras poderão perder mais de 50% de sua receita total de anúncios. A corrida pela privacidade do consumidor provavelmente beneficiará mais as grandes empresas de tecnologia, especialmente as que já vem acumulando dados ao longo das últimas décadas (CBInsights, 2022).

Figura 6.4 – Privacidade do consumidor desperta atenção das empresas

Privacidade do consumidor atrai cada vez mais a atenção dos executivos
Menções de privacidade do consumidor em chamadas T1' 2017 - T4' 2021



Fonte: CBInsight (2022).



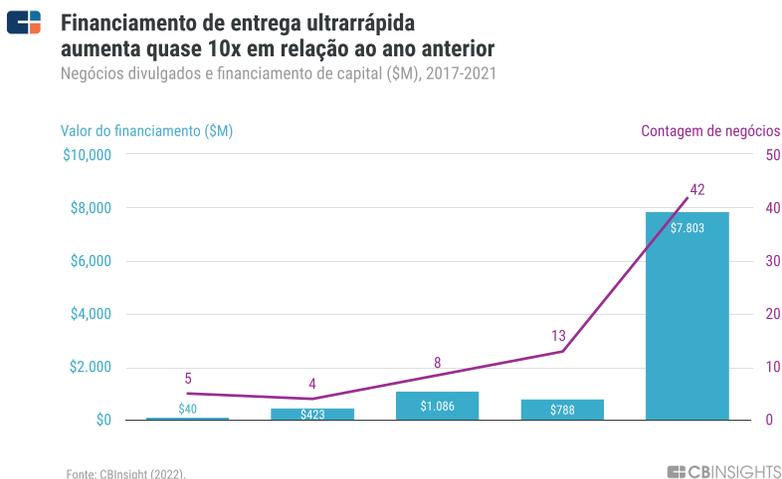
Fonte: CBInsight (2022).

6.2 Conveniência ultrarrápida e consumo instantâneo

Considerada uma forte tendência deste século, a conveniência ultrarrápida tem revolucionado a logística do varejo, podendo ser ob-

servada no crescimento do “consumo instantâneo” e na “mobilidade sem limites”. A Figura 6.5 apresenta o crescimento de financiamento em empresas de entrega ultra rápidas nos últimos 5 anos.

Figura 6.5 – Crescimento do financiamento em entrega ultra rápida



Fonte: CBInsights (2022).

O uso crescente de aplicativos de navegação em tempo real combinando, muitas vezes, com táxi, bicicletas elétricas, patinete e até helicóptero, apontam que novas formas de locomoção com foco em agilidade e conveniência vieram para ficar e transformar o tradicional modelo de transporte (Angus, Westbrook, 2020). Com popularidade crescente, especialmente na União Europeia, América Latina, Oriente Médio e Norte da África e Sudeste Asiático, as bicicletas elétricas são uma tendência mundial. Suas vendas globais aumentaram mais de 14% ao ano, e a expectativa é que mais 130 milhões de e-bikes cheguem à estrada até 2023 (HOW..., 2022).

O desejo do consumidor pelo consumo instantâneo cresceu na pandemia, aquecendo vendas de entregas ultra rápidas. O antigo prazo de entrega “em dois dias”, lançado pela Amazon em 2005, tem sido reduzido para minutos. Grandes varejistas já estão testando esse novo modelo de negócio e avançado em parcerias com *startups* de entrega rápida. O “Carrefour Sprint”, uma parceria com a *startup* de Paris Cajoo e Uber Eats, para entregas em 15 minutos; a Aldi Nord em parceria com

a Glovo⁵ estão testando um serviço de entrega de 30 minutos; e lojas de conveniência como 7-Eleven e Walgreens também estão trabalhando com *startups* como Uber, Instacart e DoorDash (CBInsights, 2022).

6.3 Valorização da moradia

A pandemia do COVID-19 transformou residências em confortáveis espaços multifuncionais, conciliando trabalho, exercício, compras e diversão (Angus, Westbrook, 2020). Um novo estilo de vida centrado na casa deve se consolidar nos próximos anos, impactando sectores. Espera-se maior demanda por produtos congelados, entrega de comida em domicílio, redução com gastos em férias, academia e atividades recreativas fora de casa (EY Parthenon, 2020).

À medida que o trabalho híbrido (onde o trabalhador vai ao escritório apenas algumas vezes por semana) se torna o novo normal (WORK..., 2020), se afastar das grandes cidades, ou passar mais tempo no ambiente rural é, para muitos, uma alternativa atraente. As comunidades rurais são mais baratas e oferecem uma qualidade de vida mais saudável. Além disso, a necessidade de socialização pode ser, em parte, suprida pela sensação de conexão *online* (Euromonitor Internacional 2021).

Outro conceito que se expandiu drasticamente nos últimos anos, sobretudo em Singapura, foi o *co-living*, arranjo de vida comunal com tudo incluído no qual os inquilinos vivem em quartos privados, mas desfrutam de espaços comunitários compartilhados como salas de jantar, áreas de estar, academias, restaurantes, jardins, entre outros. O país contava, em 2018, com apenas três empresas de *co-living*, hoje elas são mais de 25. A demanda por esses espaços de convivência vem principalmente de estudantes de pós-graduação e jovens profissionais, mas solteiros e recém casados também têm mostrado interesse nesse novo estilo de vida. Acredita-se que num futuro próximo os idosos serão um grande mercado potencial (Teo, 2022).

⁵ Glovo é uma *startup* espanhola de comércio rápido fundada em Barcelona, Espanha, em 2015 por Oscar Pierre e Sacha Michaud. É um serviço de correio sob demanda que compra, coleta e entrega produtos encomendados por meio de seu aplicativo móvel. Oferece vários serviços, sendo o *delivery* de comida o mais popular.— Wikipedia (inglês).

6.4 Consumo consciente

Consumidores estão cada vez mais preocupados com o *meio ambiente* e a sustentabilidade, exigindo maior transparência das empresas quanto às suas práticas e impactos ambientais (Fiesp; Ciesp, 2022). O consumo consciente influenciará a escolha por organizações com propósitos que atendam a requisitos ambientais sociais e de governança (ESG), valorizando marcas confiáveis (PWC, 2021).

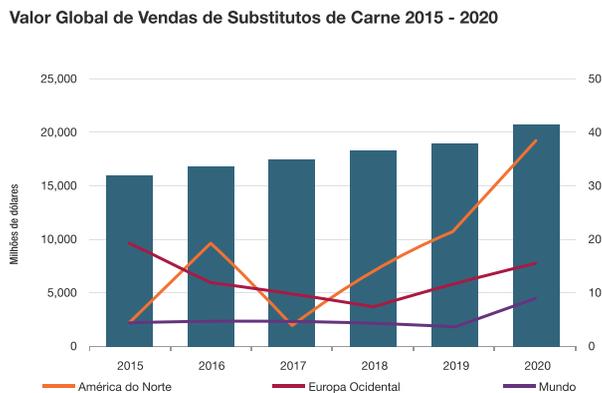
O aumento da conscientização ambiental está impulsionando a reutilização e o melhor uso dos recursos naturais (Angus, Westbrook, 2020), a coleta seletiva; a produção de alimentos orgânicos (Sebrae, 2021); a popularidade do veganismo e vegetarianismos (Scott-Reid, 2019); a preocupação com o bem estar animal, entre outros. À medida que os consumidores se tornam mais informados sobre o *meio ambiente*, mais empresas oferecerão soluções aos clientes e mais governos decretarão leis para proteger seus cidadãos (3M, 2020).

A demanda por alimentos saudáveis e as estratégias de órgãos públicos dos países desenvolvidos para melhorar a qualidade da dieta, focando numa alimentação equilibrada e rica em nutrientes, são comportamentos que reforçam o crescimento do consumo saudável e consciente. A nutrição personalizada; a crescente valorização de alimentos funcionais bem como orgânicos, probióticos, e o aumento no consumo de produtos substitutos à carne tradicional (Figura 6.6) são também alguns exemplos (Euromonitor, 2021).

O interesse por mais transparência em torno das origens dos alimentos, combinada com o investimento sem precedentes em tecnologia de alimentos, está criando novas oportunidades para rastrear o caminho de onde os alimentos são produzidos até o consumidor final, trazendo implicações no longo prazo (Euromonitor, 2021).

Destaca-se, porém, que a tendência de alimentação saudável é a realidade de um segmento com condições socioeconômicas privilegiadas. A insegurança alimentar é um tema preocupante que atinge grande parcela da população mundial, especialmente na África e Ásia, onde predominam a fome e dietas de baixa qualidade. Hoje, existem 690 milhões de pessoas cronicamente subnutridas em todo o mundo e quase 3 bilhões de pessoas não conseguem ter uma dieta saudável. O problema atinge a saúde das crianças, comprometendo o seu desenvolvimento físico e mental, impacta a prosperidade de famílias e o crescimento dos países, acentuando ainda mais desigualdades (Glopan, 2020).

Figura 6.6 – Venda global de produtos substitutos a carne (2015-2020)



Fonte: Euromonitor (2021)

O impacto negativo da pandemia na renda da população mundial, pode resultar num comportamento de compra mais econômico. Para muitos consumidores, as compras caras serão adiadas e o consumo precisará ser mais planejado, racional e sustentável (Euromonitor, 2021).

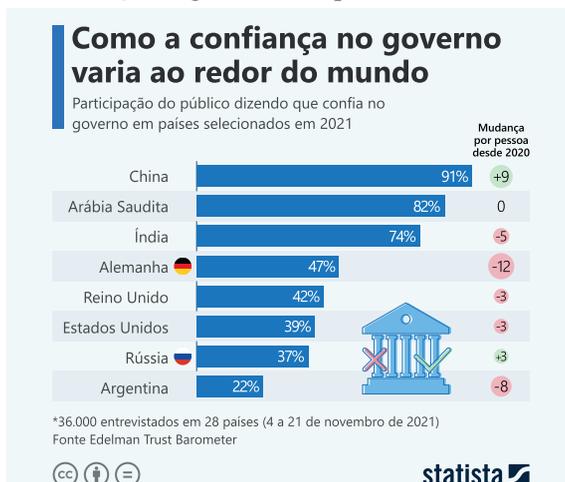
A economia compartilhada e a reutilização, tendência em vários países, representa um novo modelo de negócio em que empresas, pessoas e *startups* compartilham propriedade e acessos a produtos e serviços. Além disso, a mudança de bens de consumo descartáveis para produtos reutilizados tende a crescer nos próximos anos. Plataformas de revenda já são uma alternativa real, 4 em cada 10 consumidores em todo mundo compram e vendem algo por meio delas (Global Report, 2021). Incentivos governamentais têm estimulado a transição para modelos centrados na reutilização, entre eles destacam-se a proibição de sacolas plásticas, medida em vigor em várias nações (WEF, 2021).

6.5 Desconfiança em órgãos públicos

Sentimentos de raiva, ressentimento e extremismo contra a classe governante, têm originado movimentos de saques, boicotes e tumultos em todo mundo. Boa parte da população, e em especial os jovens, não se sentem representados por quem está no poder, se sentindo desconectados da política. As teorias de conspiração e o festival de de-

sinformação e fake news têm potencializado essa crise. Apenas 17% dos americanos dizem que podem confiar no governo; no Chile, esse número é ainda mais escasso 5% (Euromonitor, 2021). Curiosamente, pesquisa realizada em dois países, revelou que em 23 deles as empresas são mais confiáveis do que o governo. A confiança média nos negócios globalmente foi de 61%, em comparação com 52% no governo (Statista, 2022). A Figura 6.7 apresenta variações da confiança no governo em alguns países do mundo.

Figura 6.7 – Confiança no governo em países



Fonte Statista (2022).

6.6 Longevidade aumentada

A expectativa de vida global cresceu significativamente nas últimas décadas e projeções apontam que a população de idosos duplicará chegando a 1,5 bilhões em 2050: uma em cada seis pessoas no mundo terá mais de 65 anos. Atualmente, o maior percentual de idosos está na Europa (25%), mas o fenômeno do envelhecimento populacional é global. O aumento mais rápido da população idosa entre 2019 e 2050 deverá ocorrer nos países menos desenvolvidos. Acredita-se que entre 2019 e 2050, a proporção de idosos deverá dobrar nas seguintes regiões: Norte da África e Ásia Ocidental, Ásia Central e Meridional, América Latina e Caribe e Ásia Oriental e Sudeste (Tabela 6.1) (ONU, 2019).

Tabela 6.1 – População acima dos 65 anos

Número de pessoas com 65 anos ou mais por região geográfica, 2019 e 2050

Região	Número de pessoas com 65 anos ou mais em 2019 (milhões)	Número de pessoas com 65 anos ou mais em 2050 (milhões)	Variação percentual entre 2019 e 2050
Mundo	702.9	1548.9	120
África Subsaariana	31.9	101.4	218
Norte da África e Ásia Ocidental	29.4	95.8	226
Ásia Central e Meridional	119.0	328.1	176
Leste e Sudeste Asiático	260.6	572.5	120
América Latina e Caribe	56.4	144.6	156
Austrália e Nova Zelândia	4.8	8.8	84
Oceania, excluindo Austrália e Nova Zelândia	0.5	1.5	190
Europa e América do Norte	200.4	296.2	48

Fonte: Nações Unidas, Departamento de Economia e Assuntos Sociais, Divisão de População (2019). *Perspectivas da População Mundial 2019*.

*Excluindo Austrália e Nova Zelândia.

Fontes ONU, 2019.

O envelhecimento da população deverá ser uma das transformações sociais mais significativas do século, impactando diversos setores da sociedade como mercado de trabalho e financeiro; alimentação; habitação; transportes, saúde, turismo, entre outros.

Apesar de serem diversos em termos de interesses e necessidades, os consumidores mais velhos, também identificados como “mercado prateado” têm características comuns. O desejo de permanecer saudável e com boa forma física, mesmo na velhice, aumentará a demanda por saúde, nutrição e bem-estar, representando potencial para o crescimento no sector de vitaminas, suplementos, alimentos funcionais, entre outros. A busca por conveniência e tecnologia poderá ser observada na automação residencial, monitoramento remoto da saúde e cuidadores robóticos. Já no sector de turismo espera-se que haja maior procura por viagens de relaxamento, culturais, patrimoniais e educacionais (Passaporte, 2020).

Investimentos estão sendo feitos para atender novas demandas e oferecer ainda mais qualidade de vida a essa futura parcela da população. Tecnologias que prolonguem a capacidade cognitiva e o funcionamento físico (como exoesqueleto, robôs sociais alimentados com inteligência artificial, aplicativos de saúde, entre outros); aliados ao avanço na medicina (células tronco, cultivo de órgãos, CRISPR⁶ etc.), prome-

6 Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeat (CRISPR) é uma das mais modernas tecnologia científicas para a edição genética de diversos organismos, podendo ser usada na medicina para eliminar genes ligados a doenças com risco de vida da composição genética de um indivíduo (Tomlinson, 2018).

tem não apenas prevenir doenças, mas retardar, e até mesmo, bloquear o envelhecimento – é a era da longevidade aumentada uma revolução na visão do envelhecimento como conhecemos hoje (Chia, 2019).

6.7 Outras oportunidades

Inúmeros outros comportamentos devem continuar sendo destaque nas próximas décadas, entre eles: ativismo dos consumidores; demanda por informações acessíveis em curto tempo (Euromonitor, 2020); serviço de “assinaturas” de produtos; mercado de luxo (Fiesp, Ciesp, 2022); personalização em massa e a demanda por igualdade (3M, 2020).

Novas formas de consumo seguirão surgindo. Tecnologias irão cada vez mais transformar o mercado de consumo, aumentando a conexão entre o real e o virtual, ampliando o acesso a informações e padrões globais, fortalecendo o protagonismo e empoderamento do consumidor. Paralelo a essas tendências, a escassez dos recursos naturais deverá se configurar como uma grande incerteza crítica futura, trazendo mais consciência, cautela e novos comportamentos em prol de um equilíbrio econômico, ambiental e social. A seguir, é apresentada uma síntese das principais sementes identificadas na temática consumidor do futuro.

Lista de sementes de futuro

- Experiências de consumo estão migrando para o ambiente digital. (Tendência)
- Crescimento da personalização, customização. (Tendência)
- Fusão entre o mundo físico e o digital: o *phygital*. (Surpresa inevitável)
- Crescente importância da vida virtual. (Tendência)
- Crescimento do mercado de vídeo games. (Tendência)
- Realidade virtual, realidade ampliada e o metaverso revolucionarão o comércio *online*, potencializando avanço do metacomércio? (Incerteza)
- A Inteligência Artificial Aplicada atingirá crescente grau de desenvolvimento e sofisticação junto ao consumidor. (Surpresa inevitável)
- Expansão do comércio móvel (impulsionado principalmente pelo telefone celular). (Tendência)

- Consumidores estão cada vez mais cautelosos no fornecimento de informações pessoais. (Tendência)
- Crescimento da conveniência ultrarrápida e consumo instantâneo. (Tendência)
- Manutenção da valorização da moradia. (Tendência)
- Comportamento de compra mais comedido. (Tendência)
- Consumo consciente, por segmentos mais favorecidos socioeconomicamente. (Tendência)
- A economia compartilhada e a reutilização. (Tendência)
- Desconfiança em órgãos públicos. (Tendência)
- A demanda por alimentos saudáveis, por segmentos mais favorecidos socioeconomicamente. (Tendência)
- Longevidade aumentada. (Tendência)

Referências

3M. Avanços tecnológicos, 2020. Disponível em: <https://curiosidad.3m.com/blog/pt/megatendencias-avancos-tecnologicos/>. Acesso em: 15 fev. de 2022.

ANGUS, A.; WESTBROOK, G. 10 principais tendências de consumo em 2020. England: Euromonitor Internacional, 2020.

ARMSTRONG, M. Where trust in government is highest and lowest. Statista, 2022. Disponível em: <https://www.statista.com/chart/12634/where-trust-in-government-is-highest-and-lowest/>. Acesso em: 25 fev. 2022.

CBINSIGHTS. Report: 12 tech trends to watch in 2022, 2022. Disponível em: <https://www.cbinsights.com/research/report/top-tech-trends-2022/>. Acesso em: 20 fev. 2022.

CHIA, H. The longevity chapter is here: are we ready? In: CENTRE FOR STRATEGIC FUTURES. Foresight..., Singapore: CSF, 2019. Tenth Anniversary Issue. Disponível em: https://www.csf.gov.sg/files/media-centre/publications/CSF_Foresight_2019.pdf Acesso em: 20 fev. 2022.

CIESP Campinas. Macrotendências mundiais até 2040. Campinas, SP, 2022. Notícias. Disponível em: <https://www.ciespcampinas.org.br/site/noticias/2151/2022/02/macrotendencias-mundiais-ate-2040/>. Acesso em: 25 fev. 2022.

EUROMONITOR INTERNATIONAL. Trends shaping the future of the food and nutrition industry, 2021.

EY PARTHENON. EY future consumer index: Brazil highlights, 2020.

FIRJAN IEL. Lab tendências: Casa Firjan: report 2021-2022. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://casafirjan.com.br/sites/default/files/2021-05/Report%202021-2022%20-%20Revis%C3%A3o%20Final%20%282%29.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2022.

FUTURE of *shopping*: global report 2021. [S.l.:S. n.], 2021. Disponível em: https://assets.ctfassets.net/inb32lme5009/qgbcw9CEHEqT6Q9i-KBChz/db4138fd22e37c87fb873a3eb65486ca/Snap_-_Final_Global_Report.pdf. Acesso em: 20 mar. 2022.

GLOBAL PANEL ON AGRICULTURE AND FOOD SYSTEMS FOR NUTRITION. Future food systems: for people, our planet, and prosperity, 2020. Disponível em: https://www.glopan.org/wp-content/uploads/2020/09/Foresight-2.0_Future-Food-Systems_For-people-our-planet-and-prosperity.pdf Acesso em: 19 set. 2021.

HOW EMERGING trends are shaping the future of mobility. New York: Mckinsey&Company, 2022. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/themes/how-emerging-trends-are-shaping-the-future-of-mobility> Acesso em: 15 fev. 2022.

MAURER; A, L. As gerações Y e Z e suas âncoras de carreira: contribuições para a gestão estratégica de operações. 2013. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade de Santa Cruz do Sul, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unisc.br/jspui/bitstream/11624/554/1/AndreMaurer.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.

METAVVERSE: global *market* analysis and forecast. New York: Emergen Research, 2021.

ONU. Agência defende etiquetas coloridas com valor nutricional dos alimentos nas embalagens. 2021. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2021/09/1761862>. Acesso em: 20 abr. 2022.

PASSAPORT: how ageing population and rising lonvevity drive megatrends. 2020. Disponível em: https://www.hbsab.org/s/1738/images/gid8/editor_documents/2019-2020/pdfflib_ttg/20200310_how_ageing_population_and_rising_longevity_drive_megatrends.pdf?gid=8&pgid=61&sessionId=66d448c7-1ac3-4830-ad67-2cceb282799a&cc=1. Acesso em: 10 abr. 2022.

RICHTER, F. Microsoft's growing gaming ambitions. Statista, 2022. Disponível em: https://www.statista.com/chart/26633/microsoft-gaming-revenue/?utm_source=Statista+Newsletters&utm_campaign=9d0a4cec3e-All_InfographTicker_daily_COM_AM_KW03_2022_Th&utm_medium=email&utm_term=0_662f7e-d75e-9d0a4cec3e-334824034. Acesso em: 20 de Abr. de 2022.

SCOTT-REID, J. The year of the vegan. Maclean's, v. 131, n. 12, Jan.

2019, p. 18. Gale Academic OneFile. Disponível em: link.gale.com/apps/doc/A584496312/AONE?u=capes&sid=bookmark-AONE&xid=1d-9dac50. Acesso em: 24 set. 2021.

TEO, M. Breaking the habit: the rise of *co-living*. In: CENTRE FOR STRATEGIC FUTURE. Foresight. Singapore: CSF, 2021. . Disponível em: <https://file.go.gov.sg/csfforesight2021.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2022.

TOMLINSON, T. A crispr future for gene-editing regulation: a proposal for an updated biotechnology regulatory system in an era of human genomic editing. *Fordham Law Review*, v. 87, n. 1, 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30296034/>. Acesso em: 22 maio. 2022.

UNITED NATION. World population ageing 2019: highlights. New York, 2019. Disponível em: <https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/WorldPopulationAgeing2019-Highlights.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2022.

WORK anywhere. MIT technology review. 2020. Special edition *home office*. Disponível em: https://mittechreview.com.br/wp-content/uploads/2021/01/mit_trbr_special_edition_home_office.pdf. Acesso em: 10 abr. 2022.

WORLD ECONOMIC FORUM. Future of reusable consumption: models platform for shaping the future of consumption: insight report. Geneva: WEF, 2021.

WORLD ECONOMIC FORUM. Technological transformation: top 10 tech trends that will shape the coming decade, according to McKinsey. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2021/10/technology-trends-2021-mckinsey/>. Acesso em: 25 jan. 2022.

Capítulo 7

O futuro do mercado de trabalho

Por Anaely Machado¹ e Marcello José Pio²

1 Anaely Machado, Doutora em economia pela UNB e especialista em mercado de trabalho.

2 Marcello José Pio, Doutor em Ciências, especialista em estudos de futuro. Responsável pelos estudos de prospectiva do Observatório Nacional da Indústria (CNI), pesquisador convidado do Grupo de Pesquisas e Estudos Prospectivos da UCB (NEP/UCB), e pesquisador associado do Centro Internacional para el Desarrollo Sostenible do Panamá (CIDES).

Em 2021, os pesquisadores do Núcleo de Estudos Prospectivos (NEP) da Universidade Católica de Brasília (UCB) consultaram, por meio de questionários de pesquisa, diversos especialistas para identificação das sementes de futuro no campo da economia em 2021 (Mendes et al., 2021). De acordo com os especialistas consultados, as transformações do mercado de trabalho constituem uma dessas sementes de futuro e esperam-se consideráveis adequações deste mercado até 2040, em resposta à digitalização do processo produtivo e flexibilização das relações trabalhistas. Em particular, os especialistas também apontaram a flexibilização dos arranjos de trabalho e as novas formas de distribuição de renda como uma possível tendência.

De fato, o mercado de trabalho tem sido afetado fortemente por fatores associados, por um lado, à pressão pelo aumento da produtividade e competitividade e, por outro, às mudanças demográficas. Sobre o primeiro ponto, as empresas estão buscando cada vez mais novos modelos de negócios e inovações na prestação de serviços, o que, por sua vez, impulsiona alternativas para flexibilização dos contratos de trabalho e redução do custo com mão de obra. Em relação ao segundo aspecto, o envelhecimento populacional, os fluxos migratórios e a reestruturação da previdência em diversos países indicam que o mercado de trabalho deverá enfrentar, ainda, desafios com o envelhecimento dos trabalhadores e a empregabilidade de imigrantes.

Tais fatores são impulsionados pelas mudanças tecnológicas, notadamente as de automação e digitalização. Nesse contexto, uma das maiores incertezas sobre o futuro do mercado de trabalho repousa na potencialidade das novas tecnologias da automação 4.0 gerarem ou eliminarem postos de trabalho. Mas, independentemente deste fato, os processos de modernização tecnológica já estão impactando a estrutura do emprego e a demanda por profissionais que desempenhem novas atividades, habilidades (*skills*), capacidades (*abilities*) e conhecimentos.

A nova dinâmica de arranjos de trabalho se relaciona com as tendências de desenvolvimento de novas tecnologias que reduzem a intensidade de mão de obra em determinadas atividades econômicas, o que pode aumentar o desemprego estrutural, e de um mundo de trabalho cada vez mais intelectualizado e menos dependente de espaços físicos. Por exemplo, a expansão do trabalho remoto é portadora de futuro para a distribuição geográfica de empregos e a descentralização de renda entre regiões com o fortalecimento de economias locais, com destaque para uma redescoberta da ocupação do espaço rural.

Se por um lado as potencialidades são enormes, por outro, há

que se observar também os limites desses fenômenos para diferentes tipos e demandas de trabalho, uma vez que os impactos tendem a ser desiguais conforme o nível de desenvolvimento dos países. Além disso, os impactos negativos podem ser maiores sobre a população menos favorecida, como os mais pobres e os imigrantes.

Que desdobramentos terá esse conjunto de fenômenos para o emprego do futuro? Dois condicionantes importantes são a regulação da tecnologia e do trabalho e o desenvolvimento tecnológico. Haverá ruptura ou retomada de leis de proteção a trabalhadores? A tendência de fusão de tecnologias com o ser humano terá qual grau de ruptura e qual teor de limites ético-legais? Isso permite refletir sobre as incertezas identificadas em termos de resultados dessas dinâmicas: (1) haverá redução do tempo médio gasto com o trabalho assalariado? (2) Qual será a intensidade da redução da demanda por trabalhadores a risco de colapsar a dinâmica de consumo-produção-renda-consumo?

7.1 A dinâmica recente do mercado de trabalho e as perspectivas futuras

A discussão sobre o futuro do mercado de trabalho perpassa por uma série de questões relacionadas ao alto nível de desemprego e informalidade, ao aumento da desigualdade de renda, à necessidade de maior qualificação da mão de obra e às lacunas entre as habilidades portadas pelos trabalhadores e as demandadas pelo mercado (Walwei, 2016; ILO, 2022).

O mundo pós-pandemia evidenciou e ampliou gargalos críticos sobre o futuro do trabalho, tais como o aumento da informalidade e do desemprego. A menor capacidade de geração de trabalho decente – isto é, empregos que garantem um sistema de proteção social e renda para as famílias – já era observada mesmo antes da pandemia, especialmente nos países de menor nível de desenvolvimento. No entanto, esse problema ganhou evidência na crise desencadeada pela pandemia do COVID-19 e as expectativas sugerem que o emprego não deve recuperar o patamar pré-pandemia em diversos países de baixa e média renda na América Latina, Ásia e África (ILO, 2022).

Em um cenário de alta incerteza sobre a recuperação *econômica* (regional e mundial) somado a limitação das políticas de transferência de renda que buscam compensar a perda de salários decorrente da paralisação das atividades econômicas durante a quarentena, muitos tra-

balhadores têm recorrido ao emprego informal, ao trabalho autônomo ou aos contratos mais flexíveis (por exemplo, temporários). Embora tais alternativas tenham sido a única opção de renda no momento, a Organização Internacional do Trabalho ressalta que a recuperação plena do mercado de trabalho requer a garantia de proteção social desses trabalhadores (ILO, 2022).

Além da delicada conjuntura observada para o mercado de trabalho, as inovações e mudanças organizacionais contribuem para tornar o cenário ainda mais desafiador para os trabalhadores. Tais mudanças requerem um processo contínuo de formação e requalificação da força de trabalho aderente à dinâmica produtiva, caracterizada pela constante transformação, para suprir os *gaps* de habilidades, capacidades e conhecimentos resultantes (Walwei, 2016; WEF, 2020; ILO, 2022).

No relatório sobre o futuro do trabalho 2020 (The future of Jobs 2020), o World Economic Forum (WEF, 2020) reforça que as novas tecnologias deverão impulsionar o crescimento em todos os setores. Contudo, os positivos efeitos econômicos são acompanhados por impactos sobre a força de trabalho. Por um lado, vários estudos têm indicado que a modernização tecnológica impactará negativamente o emprego em ocupações cujas tarefas, atualmente desempenhadas por humanos, podem ser deslocadas para máquinas, o que tende a contribuir para o aumento do desemprego. Por outro lado, o progresso tecnológico também tem indicado que nem todas as tarefas serão desempenhadas por máquinas, de modo que pode aumentar a demanda por trabalhadores em áreas mais atreladas à tecnologia ou em tarefas que não podem ser facilmente automatizadas.

O caminho e intensidade das mudanças tecnológicas podem ser observadas pelos resultados obtidos na pesquisa do World Economic Forum (WEF, 2020). De acordo com a pesquisa, as empresas estão procurando transformar a composição de sua cadeia de valor (55%), introduzir mais automação, reduzir a força de trabalho atual (43%) ou expandir sua força de trabalho como resultado de uma integração tecnológica mais profunda (34 %), além de expandir o uso de empreiteiros para trabalhos especializados em tarefas (41%). A pesquisa ainda aponta que as expectativas de adoção de novas tecnologias até 2025. Tecnologias de computação “em nuvem”, *big data* e *e-commerce* ainda são prioritárias, confirmando os resultados de pesquisas anteriores. Contudo, verificou-se um aumento significativo no interesse em tecnologias de criptografia, o que reflete a preocupação com a segurança nesta nova era digital, e um aumento significativo no número de empresas

que esperam adotar robôs não humanóides e inteligência artificial, com ambas as tecnologias lentamente se tornando um pilar do trabalho. em todas as indústrias.

Diante deste quadro, os empregadores pesquisados esperam que até 2025, ocorra uma redução das ocupações tradicionais de 15,4% para 9% (redução de 6,4%) e que as profissões emergentes cresçam de 7,8% para 13,5% (crescimento de 5,7%) da base total de funcionários das empresas respondentes. Com base nesses números, o WEF estima que até 2025, 85 milhões de empregos poderão ser substituídos por uma mudança na divisão do trabalho entre humanos e máquinas, enquanto 97 milhões de novos cargos poderão surgir mais adaptados (WEF, 2020).

Nesse contexto, a requalificação e a educação continuada exercem um papel importante na readequação dos trabalhadores às novas habilidades demandadas pelo mercado de trabalho (WEF, 2020). É importante notar que as novas habilidades são demandadas não somente em novas ocupações, mas também em ocupações que já existiam. Por exemplo, estudos recentes mostram que tarefas associadas à área de STEM (*Science, Technology Engineering and Mathematics*) já estão sendo exigidas em anúncios de vagas de empregos para profissionais que tradicionalmente não utilizariam esse tipo de conhecimento (em ocupações consideradas como não-STEM) como, por exemplo, professores e administradores (Grinis, 2019). Além disso, evidências sugerem que as habilidades demandadas pelas ocupações estão mudando significativamente nos últimos anos em resposta às mudanças do sistema produtivo, especialmente em áreas mais atreladas às mudanças tecnológicas, como é o caso de profissionais de STEM (Deming e Noray, 2020). Em conjunto, essas evidências mostram um mercado de trabalho em constante transformação com o surgimento de novas ocupações e transformação das habilidades demandadas por ocupações já estabelecidas.

A combinação entre o avanço no campo da automação e o gargalo na geração de empregos (principalmente formais) levanta questões críticas sobre a capacidade futura de a economia garantir emprego e renda em um nível que viabilize um desenvolvimento econômico e social sustentável. Tais questões reforçam a importância da adequação do emprego às necessidades das firmas com o intuito de promover o aumento da produtividade ao mesmo tempo em que se discute modelos mais eficazes para a flexibilização do emprego com garantia de proteção social.

7.2 Tendências que impactarão o mercado de trabalho até 2040

O Observatório Nacional da Indústria (2020), elencou um grupo de tendências, que foram aceleradas devido ao evento da pandemia de COVID-19, e que impactarão o mercado de trabalho, principalmente no que tange à demanda por novos profissionais e mudanças em alguns perfis de ocupações já atuantes. Uma vez que já se configura um contexto pós-pandemia no mundo, esta seção discute e atualiza algumas dessas tendências, enfatizando aquelas com maior potencial de impactarem o futuro do trabalho.

Tendência 1 – Virtual Experience Economy

Novas tecnologias imersivas que oferecerão outras experiências virtuais menos competitivas – 'viagens', varejo, encontros e muito mais – para que os consumidores possam adquirir novos níveis de significado. Experiências imersivas também podem contribuir para aprimorar o ensino à distância, o treinamento in company e interações de negócios.

O conceito de “metaverso” ganha destaque entre essas tendências: empresas como a Meta (antigo Facebook) estão apostando no desenvolvimento de um ambiente virtual imersivo, com o uso de tecnologias de ponta de realidade virtual para ampliar a imersão dos usuários em experiências virtuais cada vez mais próximas do que vivenciaram no dia a dia. Sob esse novo conceito, espera-se que as empresas promovam eventos, reuniões e negociações em ambientes virtuais que possibilitem ampliar a experiência dos interlocutores, bem como ampliar a interação com clientes e parceiros.

Vale notar que o evento da pandemia de COVID-19 já impulsionou experiências de entretenimento virtual, com o fortalecimento de plataformas de streaming, experiência de viagem em 3D e aumento do tráfego de jogos *online*.

Adicionalmente, as tecnologias virtuais poderão dar um grande salto, passando de assistentes para acompanhantes. À medida que os consumidores se familiarizarem com os assistentes digitais e *chatbots*, suas expectativas evoluirão e alguns começarão a procurar personalidades virtuais que têm o poder de entreter, educar, fazer amizade e curar.

Tendência 2 – Fusão do comércio online e a loja física

O *e-commerce* e os serviços de *delivery* se destacaram durante a pandemia do COVID-19, em particular por se tornar uma alternativa de venda para muitos varejistas. Na tentativa de oferecer uma boa experiência virtual, principalmente para os consumidores que não tinham o hábito de comprar pela internet, o comércio eletrônico vem buscando se assemelhar à estrutura das lojas físicas. Com o uso da tecnologia, as lojas estão desenvolvendo páginas mais interativas para que o cliente consiga visualizar os produtos, assim como acontece nas vitrines e gôndolas.

Essa é uma estratégia que atrai os consumidores por garantir a sensação de escolha dos produtos, como acontece nas lojas físicas. Além disso, é uma forma de oferecer uma melhor experiência por fornecer um detalhamento mais real dos produtos, ao contrário do que acontece em alguns *e-commerces*. Também vale ressaltar que essa tecnologia pode ser utilizada em qualquer tipo de negócio, como o de roupas, presentes, chocolates e maquiagens.

Além do mais, as "regras" do comércio eletrônico serão reescritas. A próxima direção para as compras *online* poderá ser a interatividade e experimentação em tempo real (*Shopstreaming* – Transmissão ao vivo + compras). Contudo, o grande desafio que se coloca é: vale a pena a criação de um ambiente de compras *online* onde as pessoas frequentam apenas para sair e conversar?

Tendência 3 – Economia do compartilhamento

Ganha força o ato de compartilhar e até mesmo distribuir suas soluções inovadoras para problemas diversos. O COVID-19 é um dos problemas transnacionais e trans demográficos mais urgentes da história recente e, como tal, lembrou às pessoas que as melhores organizações são aquelas que colaboram com outras pessoas.

Por outro lado, o uso de plataformas digitais para promoção das vendas (como aplicativos de *delivery* como o Ifood) indicam que o uso de tecnologias compartilhadas pode impulsionar os negócios das empresas. Em particular, no que tange à tecnologia da informação, tecnologias do tipo *open source* são escaláveis e flexíveis, o que contribui para a inovação tecnológica e a maior facilidade na adoção e adaptação das tecnologias a situações diversas.

Já do ponto de vista das pessoas, as plataformas de emprego para

oferta de trabalhos, do tipo freelance (como o Upwork), fornecem uma solução unificada para trabalhadores e clientes com diferentes perfis e demandas.

Tendência 4 – Dados como ativo para as empresas

Em um mundo cada vez mais globalizado e dinâmico, a identificação de novas oportunidades de negócio deve ser ágil. Para tanto, as empresas recorrem ao processamento de um maior volume de dados quase de forma instantânea para que as decisões estratégicas sejam tomadas de forma rápida e eficiente. Além disso, a ciência de dados tem trazido soluções para o monitoramento da produção, identificação de riscos para os negócios e indicação de possíveis falhas em processos de produção.

O fortalecimento da cultura data driven nas empresas tende a fortalecer o valor da informação para os negócios.

Tendência 5 – Desenvolvimento de produtos por meio da inteligência artificial e supercomputação

Em adição à tendência anterior, o grande volume de informação armazenado pelas empresas é de particular importância para a programação de soluções de inteligência artificial e da supercomputação para o desenvolvimento de novos produtos e resolução de problemas complexos. Tais soluções são capazes de identificar falhas em sistemas e otimizar máquinas, o que pode contribuir para a redução do custo de produção e oferta de produtos de maior qualidade para os consumidores.

Por exemplo, essa tendência é bastante relevante no contexto da indústria farmacêutica. Quanto mais rápido for a criação e produção de medicamentos e vacinas eficazes e seguros para tratar e prevenir futuras doenças, mais rapidamente futuras epidemias serão contidas. A inteligência artificial poderá ser um aliado fundamental no desenvolvimento de medicamentos, porque pode acelerar e complementar os esforços humanos. Devido à pandemia do COVID-19, muitos veem o potencial da supercomputação para acelerar pesquisas médicas, realizar análises mais rápidas de causalidade e acelerar testes e pesquisas para vacinas, por exemplo.

Em suma, as tecnologias de supercomputação serão capazes de capturar e minerar os maiores conjuntos de dados possíveis para resol-

ver diversos tipos de problemas.

Tendência 6 – Segurança versus privacidade

A necessidade de controlar a disseminação do COVID-19 e prevenir novas pandemias têm levado governos, empresas e instituições de pesquisas a usarem cada vez mais dados dos habitantes e recorrer a técnicas de rastreamento, como por exemplo a geolocalização de pessoas a partir do uso de celulares e equipamentos eletrônicos pessoais. Por um lado, isso traz riscos à privacidade dos cidadãos. Por outro, pode contribuir para ampliar a segurança sanitária. Além disso, o uso dos dados pelas empresas para impulsionar seus negócios também levanta questionamentos sobre a proteção dos dados pessoais nas redes.

A segurança da informação dependerá da regulação, transparência e da ética com que esses dados serão usados – assim como de os consumidores aceitarem fornecer essas informações. É provável que os países avancem nas discussões para o estabelecimento e fortalecimento de legislação específica visando regular esse mercado. Embora a dinamicidade do fluxo de dados na internet seja um fator complicador para uma regulação eficiente, é possível que tais regulamentos estabeleçam parâmetros mínimos para o uso e disseminação dos dados compartilhados.

Tendência 7 – Trabalho remoto

A alternativa para muitas empresas continuarem operando ao mesmo tempo em que é preciso manter o distanciamento social foi a adoção do *home office* durante a pandemia do COVID-19. Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por exemplo, apontaram que, em maio de 2020, quase 9 milhões de trabalhadores estavam no regime remoto.¹ O possível crescimento dessa forma de trabalho aumentará a difusão de diversas tecnologias digitais, tais como as redes privadas virtuais (VPNs), os protocolos de voz sobre internet (VoIPs), tecnologia em *CLOUD*,² ferramentas de colaboração de traba-

1 Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2020/06/24/internas_economia,1159657/ibge-pnad-covid-entre-nao-afastados-8-7-milhoes-trabalharam-de-forma.shtml. Acesso em 31 dez. 2022.

2 *CLOUD* é um acrônimo de: (1) *C – Computing resources*; (2) *L – that is Location independent*, (3) *O – can be accessed via Online means*; (3) *U – used as an Utility*; (4) *D – is available on Demand* (YUVARAJ, 2013).

lho e até tecnologias de reconhecimento facial que permitem que uma pessoa apareça diante de um plano de fundo virtual para preservar a privacidade da casa.

Tendência 8 – Supply Chain 4.0 – Monitoramento usando IoT (Internet das Coisas), IIoT (internet industrial das coisas) e big data

Durante a pandemia, as cadeias globais de valor sofreram vários tipos de interrupções e, provavelmente, sofrerão algum tipo de reorganização no futuro pós-COVID-19. Ao mesmo tempo, o aumento das compras virtuais tem trazido grandes desafios estratégicos aos grandes varejistas de adaptarem e fortalecer o *e-commerce*, e para o setor de logística dos elos que compõem as diversas cadeias produtivas existentes.

A forte dependência de registros impressos, a falta de visibilidade dos dados e a falta de diversidade e flexibilidade tornaram o sistema da cadeia de suprimentos existente vulnerável a qualquer pandemia. As principais tecnologias da Quarta Revolução Industrial, como *big data*, *CLOUD computing*, Internet das Coisas (IoT), internet industrial das coisas (IIoT) e *blockchain* estão construindo um sistema de gerenciamento da cadeia de suprimentos mais resiliente para o futuro, aprimorando a precisão dos dados e incentivando o compartilhamento de dados.

Tendência 9 – Maior dependência de robôs e drones

O crescimento do uso de robôs e *drones* nos mais diversos segmentos econômicos, intensificado nos últimos 3 anos, explicita a busca por maior produtividade e competitividade das empresas de uma forma geral. Tais tecnologias têm um duplo impacto nos segmentos econômicos, notadamente o industrial. Da mesma forma que podem eliminar algumas atividades, e em alguns casos, determinados postos de trabalho, poderá gerar demanda por novos profissionais, como por exemplo, o operador de *drones*. Com o crescimento das compras *online*, que precisarão, cada vez mais, ser apoiadas por um sistema produtivo e logístico eficiente e robusto, estas tecnologias deverão experimentar um elevado grau de difusão.

Vale lembrar que os gigantes chineses do comércio eletrônico estão acelerando o desenvolvimento de entregas por robôs. No entanto, antes que os serviços de entrega por robôs se tornem predominantes, as empresas de entrega precisam estabelecer protocolos claros para prote-

ger as condições sanitárias das mercadorias entregues. *Drones* já passavam com cães e entregam itens.

Tendência 10 – Híbrido e MULTICLOUD³

A longo prazo, o evento da pandemia do COVID-19 e suas consequências acelerarão a necessidade das organizações em adotarem uma estratégia híbrida ou com várias *CLOUD* para armazenamento de dados, gestão do negócio e interação com clientes. Funcionários e clientes estão cada vez mais dispersos geograficamente, por exemplo, em *home office*, comprando e vendendo na rede, dentre outras atividades. Para lidar com essas flutuações no tráfego, as organizações precisam da infraestrutura mais flexível que encontrarem. Além disso, tais modelos podem contribuir para a redução do custo das empresas com infraestrutura de tecnologia da informação (TI) ao mesmo tempo que mantêm o negócio interconectado em qualquer local do planeta.

Tendência 11 – Cyber security

Ao mesmo tempo que o mundo se torna mais virtual, as empresas precisarão fortalecer ainda mais a política de segurança digital. Diante da crescente ameaça de ataques cibernéticos, as áreas de TI deverão fortalecer as medidas para proteção das informações da empresa, de seus funcionários e clientes. A adoção de ferramentas para identificação de ameaças de forma ágil demandará soluções atreladas à inteligência artificial e ao aprendizado de máquina.

Tendência 12 – Intensificação do uso da Impressão 3D

A difusão da tecnologia de impressão 3D foi acelerada para mitigar choques na cadeia de suprimentos e proibir a exportação de equipamentos de proteção individual. A impressão 3D oferece flexibilidade na produção: a mesma impressora pode produzir produtos diferentes com base em arquivos e materiais de *design* diferentes, e peças simples podem ser feitas no local rapidamente, sem a necessidade de um longo processo de compra e uma longa espera para a remessa chegar.

³ Multicloud é o uso de uma empresa de vários serviços de armazenamento e *CLOUD Computing* de diferentes fornecedores em uma única arquitetura heterogênea para melhorar os recursos e o custo da infraestrutura em *CLOUD*.

Tendência 13 – Conectividade 5G

Todas as tendências tecnológicas dependem de uma internet estável, de alta velocidade e acessível. Ainda que a adoção do 5G continue sendo um desafio em termos de disponibilidade, o evento da pandemia do COVID-19 poderá acelerar o mercado 5G de forma mais rápida que o esperado. Como muitas pessoas ainda permanecem trabalhando e estudando em casa, elas estressam as redes e criam uma demanda maior por largura de banda.

Tendência 14 – Importância da prontidão digital

A pandemia de COVID-19 mostrou a importância da prontidão digital, a qual permite que os negócios e a vida continuem como de costume – o máximo possível – durante futuras pandemias. Criar a infraestrutura necessária para apoiar um mundo digitalizado e manter-se atualizado com a tecnologia mais recente será essencial para qualquer empresa ou país permanecer competitivo no mundo pós-COVID-19, além de adotar uma abordagem centrada nas pessoas e inclusiva para a governança de tecnologia.

A partir das tendências listadas, é possível estabelecer algumas tendências de peso⁴ no tocante ao mercado de trabalho em 2040, tais como:

1. Até 2040, haverá uma intensa digitalização dos processos produtivos e de serviços.
2. Até 2040, a tecnologia será uma parte natural do nosso entorno de trabalho.
3. Até 2040, aumentará significativamente o número de pessoas, principalmente trabalhadores, que influenciarão os processos de digitalização e criação do “valor digital”.
4. Até 2040, a humanidade realizará suas atividades de uma forma tal que nos aproximará fortemente de nossa natureza criativa se comparada com os métodos que são empregados atualmente.
5. Até 2040, uma significativa parte dos postos de trabalho que ne-

⁴ Foram definidas por Michel Godet (1987) e referem-se àqueles eventos cujas perspectivas de direção e de sentido são suficientemente consolidadas e visíveis para se admitir suas permanências no período considerado. São movimentos bastante prováveis de um ator ou uma variável dentro do horizonte de estudo, além de serem redigidas na forma de sentença afirmativa, descrevendo o movimento.

cessitarão de intervenção humana serão ocupados por profissionais mais velhos, que irão conviver com trabalhadores mais jovens, gerando um ambiente multigeracional.

6. Até 2040, com o aumento da expectativa de vida, a tendência é que aumente a demanda de profissionais como médicos, enfermeiros, farmacêuticos, técnicos de saúde e demais profissões relacionadas. Até 2030, essa tendência poderá criar entre 20 e 50 milhões de empregos em todo o mundo (McKinsey Global Institute).
7. Até 2040, a ideia de trabalho para o resto da vida deixará de existir.
8. Até 2040, a formação “ao longo da vida” será fundamental para que cada trabalhador se adapte a todas as mudanças que poderão ser produzidas no mercado de trabalho.
9. Até 2040, a formação ainda terá peso, mas as competências portadas pelas pessoas serão mais importantes. Haverá uma forte demanda por profissionais qualificados em todos os níveis ocupacionais (qualificação, técnicos e profissionais de nível superior) com competências transversais que lhes permitam a adaptação a diferentes tipos de trabalho e demandas de cada setor econômico.
10. Até 2040, o mercado exigirá cada vez mais profissionais habilitados para a criação e manutenção de estruturas de comercialização *online*, com *layouts* inovativos, organização impecável e bastante intuitivos.
11. Até 2040, a proficiência digital será um requisito para a maior parte dos empregos independentemente do tipo de ocupação.

Além dessas tendências de peso, é possível iniciar um processo de reflexão sobre algumas incertezas sobre o comportamento do mercado de trabalho, frente às novas dinâmicas dos negócios, reconfigurações das cadeias produtivas globais, incorporação das tecnologias da indústria 4.0 e mudanças constantes do mercado consumidor. A seguir, são apresentados alguns questionamentos (incertezas⁵) sobre o mercado de trabalho.

1. Até 2040, quais serão, de fato, os efeitos disruptivos no emprego da quarta revolução industrial?
2. Até 2040, como será a interação homem-máquina?

5 Variáveis as quais não se sabe os comportamentos futuros. Elas se apresentam como um mundo de possibilidades futuras, muitas vezes como sinais ínfimos, pouco percebidos, mas imensos em potencialidades. Entretanto, são de grande importância para a questão-foco do estudo de futuro e são redigidas em forma de pergunta (Schwartz, 1996).

3. Até 2040, as empresas conseguirão adaptar sua estrutura organizacional (“ágil, líquida e plana”) de acordo com as mudanças demandadas pela tecnologia e digitização?
4. Até 2040, os trabalhadores conseguirão adquirir as competências requeridas para atuação em um mercado de constante mudança?
5. Até 2040, os sistemas de educação serão capazes de adaptar o ensino em todos os níveis (desde a educação básica até a superior) à dinamicidade da indústria 4.0? Isto é, os egressos portarão as competências transversais e a cultura do aprendizado contínua para adaptação às mudanças contínuas do ambiente produtivo?
6. Até 2040, a evolução tecnológica conseguirá criar postos de trabalho na mesma intensidade em que eliminará? Ou teremos um aumento do desemprego estrutural?
7. Até 2040, os ganhos com o avanço da indústria 4.0 serão compartilhados com a sociedade ou aumentarão a desigualdade social?
8. Até 2040, os governos serão capazes de adotar políticas de transferência e manutenção de renda para os trabalhadores que perderam seus empregos para a automação?
9. Até 2040 um possível crescimento de governos de caráter “populista-isolacionista” poderá impedir/dificultar o processo de modernização (digitalização e automatização) das empresas devido à possibilidade de demissões em massa?
10. Até 2040, quais as profissões atuais que continuarão existindo?
11. Até 2040, quais os setores gerarão maior demanda por profissionais?
12. Até 2040, quais os setores gerarão maior demanda por novos profissionais?
13. Até 2040, com o crescimento das tecnologias de inteligência artificial, cognitiva e robótica, quais os trabalhos/atividades serão realizados por robôs? Serão somente as atividades de rotina e repetitivas ou esta participação será mais ampla?
14. Até 2040, com o crescimento das tecnologias de inteligência artificial, cognitiva e robótica, quais os trabalhos/atividades serão realizados por humanos?
15. Até 2040, a inteligência artificial será capaz de interagir com clientes, pacientes e demais tipos de consumidores da mesma forma que um humano?
16. Até 2040, haverá uma nova legislação, que possa mediar a programação e colocar limites (principalmente éticos) no uso da inteligência artificial?

17. Até 2040, haverá um crescimento da mobilidade de profissionais entre países? Ou o crescimento de governos de caráter mais isolacionistas diminuirá este fluxo?
18. Até 2040, qual será o real papel das representações sindicais? Conseguirão se adequar às mudanças do mercado de trabalho e necessidades de um novo trabalhador ou serão extintas?

Além do mais, algumas surpresas inevitáveis⁶ terão lugar nos próximos anos, tais como:

1. Até 2040, o mercado de trabalho irá demandar um grande número de novas profissões, das quais ainda não se tem conhecimento.
2. Até 2040, a tecnologia nos permitirá realizar múltiplas atividades que hoje são inimagináveis.
3. Até 2040, uma parte dos trabalhos/atividades serão realizados por meio de plataformas colaborativas, áreas de coworking e uso de tecnologias digitais, bem como outras formas não tradicionais. A proximidade física com a organização não será mais necessária.
4. Até 2040, haverá um crescimento considerável dos métodos de autogestão nas empresas.
5. Até 2040, os trabalhos do futuro serão mais automatizados, mas também irão demandar habilidades humanas em áreas como resolução de problemas, comunicação, interpretação e desenho.
6. Até 2040, uma considerável parte do processo de contratação/engajamento das equipes de trabalho se dará por uma causa, e não por um valor, isto é, os profissionais deverão acreditar na missão das organizações e envolver-se nela.
7. Até 2040, os contratos flexíveis de trabalho estarão consolidados e serão amplamente aceitos e utilizados, gerando um crescimento dos trabalhadores “independentes”, por exemplo, aqueles que atuam em tempo parcial (*mini Jobs*), por projetos (*on-call-work*) ou pelo modelo de *crowdsourcing*.
8. Até 2040, haverá um forte crescimento de *startups* competindo

⁶ São eventos futuros com ocorrências previsíveis, pois têm suas raízes em outras sementes de futuro que já estão em operação neste momento, mas não se sabe quando irão se configurar nem se pode conhecer previamente suas consequências e como a sociedade será afetada (Schwartz, 2003). Referem-se a eventos que possuem alta probabilidade de ocorrência no futuro, mas ainda não se materializaram no presente. São grandes forças que também apresentam riscos e oportunidades, mas há tempo para as organizações se prepararem antes de sua materialização.

com as empresas “tradicionais” pela atração de talentos.

Referências

- DEMING, D.; J. NORAY, K. Earnings Dynamics, Changing Job *Skills*, and STEM Careers. *The Quarterly Journal of Economics*, Volume 135, Issue 4, Nov. 2020, pp 1965–2005. <https://doi.org/10.1093/qje/qjaa021>.
- GRINIS, I. The STEM requirements of “Non-STEM” jobs: Evidence from UK *online* vacancy postings. Elsevier. *Economics of Education Review*. Volume 70, Junho de 2019. pp 144-158. <https://doi.org/10.1016/j.econedurev.2019.02.005>.
- INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION. World Employment and Social Outlook: Trends 2022. International Labour Office. Geneva. 2022. https://www.ilo.org/global/research/global-reports/weso/trends2022/WCMS_834081/lang--en/index.htm.
- YUVARAJ, Mayank. *CLOUD computing* applications in Indian Central University libraries: a study of librarians’ use. *Library Philosophy and Practice*, 2013. Disponível em: < <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2397&context=libphilprac> > . Acesso em: 10 jun. 2014.
- WALWEI, U. Digitalization and Structural Labour *Market* Problems: The case of Germany. ILO Research Paper No. 17. Set. 2016.
- WORLD ECONOMIC FORUM. The Future of Jobs Report. Outubro de 2020. Disponível em: <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020/>. Acesso em: 18 set. 2022.
- OBSERVATÓRIO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Os Impactos Ocupacionais da Pandemia de COVID-19. Brasília. ago. de 2020.

Capítulo 8

Cidades do futuro

Por Clarice Kobayashi, Marcelo Schneck de Paula Pessôa, Rita C. Giral-di, Bianca Bonachela de Oliveira, Maria Laura Fogaça Zei, Amilcar Gouveia. Elaine C. Marcial¹

¹ Este trabalho foi elaborado pelo Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos (NEP-UCB) com a ajuda do grupo Conectividade – Laboratório de Cidades Tecnologia e Urbanismo da Poli/USP. Contribuíram para este trabalho Enga Clarice Kobayashi, Prof. Dr. Marcelo Schneck de Paula Pessôa, Profa. Dra. Rita C. Giral-di, Arqta Bianca Bonachela de Oliveira, Arqta Maria Laura Fogaça Zei, Engo. Amilcar Gouveia.

Cidades do futuro

As conforme será detalhado mais adiante, as concentrações urbanas deverão abrigar em 2050 quase 70% da população do planeta, demonstrando a importância das cidades para oferecerem uma qualidade de vida digna para as pessoas (UNDESA, 2019b).

Tudo ocorre nas cidades: nela habita a maioria das pessoas, ocorrem as políticas públicas e os eventos importantes para a sociedade. No entanto, elas estão sufocadas, com muitos problemas de segurança, com aglomerações excessivas e processos de empobrecimento que precisam ser resolvidos de alguma forma. O objetivo maior das intervenções neste espaço é oferecer conforto e qualidade de vida a todos os cidadãos. Neste capítulo, serão abordados os temas urbanismo e ocupação do espaço urbano em contexto global seguido do entendimento de como o uso dos conceitos de cidades inteligentes podem contribuir para a solução dos problemas hoje existentes.

Harvey (1990) define a cidade como uma modalidade de organização do espaço pelo homem, expressão concreta em que processos sociais, na forma de um ambiente físico construído, sobre o espaço geográfico. Portanto, a cidade reflete as características da sociedade.

Na segunda metade do século XX, devido principalmente ao aumento populacional e desenvolvimento da tecnologia, pode-se observar que as teorias que respaldam os estudos sobre o desenvolvimento das cidades caracterizando-as como centralização, descentralização, coesão, segregação, invasão-sucessão e inércia (Corrêa, 1979) cedem lugar para novas análises. Entre as novas percepções da dinâmica do espaço urbano Rem Koolhaas (2014) cita a Cidade Genérica, ou seja, aquela que é liberta do poder do centro e de uma identidade própria e que se reinventa de acordo com o movimento pendular da sociedade que nela habita. Giedon (2004) afirma que não se pode mais pensar na cidade como um organismo fechado, e mais do que pensá-la no bidimensional, deve-se adotar o planejamento tridimensional. Da mesma forma, Secchi (2012) observa que a cidade contemporânea não é um território homogêneo ditado pela hierarquia institucional e técnico-administrativa, mas, sim, um espaço de dispersão, fragmentação, heterogeneidade onde a mescla de pessoas e diversificação de atividades estabelecem um ambiente fractal. No século XXI, pode-se falar de cidade ampliada (Firmino, 2011), cida-

des criativas (Reis, 2012) e Cidades Inteligentes (Leite, 2012).

Com o avanço da tecnologia e as novas relações estabelecidas pós-pandemia, não se torna possível continuar a pensar no desenho da cidade nos moldes da modernidade, onde a setorização se fazia presente – reproduzindo o sistema de produção industrial. Embora existam cidades avançadas que adotam esses conceitos mais atuais, ainda são encontradas muitas cidades em estágios bem menos evoluídos. Particularmente as cidades menores e as cidades dos países mais pobres com poucos recursos estão muito aquém do desejado, motivando migrações das populações e provocando desequilíbrios nas cidades que as recebem.

Segundo Harvey (1990), em seu texto sobre espaços urbanos na aldeia global, está havendo o colapso das barreiras espaciais por diversos motivos. O primeiro deles é a comunicação eletrônica que permite às empresas coordenarem fábricas localizadas em dezenas de localidades diferentes ao redor do mundo de forma instantânea, praticamente em tempo real. A tecnologia também permitiu para o sistema financeiro mundial a possibilidade de realização de diversos tipos de transações sem fronteiras temporais e geográficas. O acesso a um sistema global de financiamento com muita facilidade também criou um sistema com fluxo irrestrito de capital e certa vulnerabilidade devido à volatilidade e insegurança dos mercados financeiros e monetários. O autor defende a ideia de que a queda de barreiras espaciais reforçaria o significado que o espaço contém e que se trata de uma oportunidade para as cidades (ou regiões) utilizarem esses capitais para investimentos. Assim, a tarefa da gestão urbana seria atrair uma produção altamente móvel e flexível, bem como fluxos financeiros e de consumo. Em uma visão genérica, há quatro opções distintas, mas não exclusivas, para definição de suas vocações (Harvey, 1990):

- Aumento da capacidade de uma região urbana de produzir bens e serviços para uso local ou para exportação.
- Melhorar seu desempenho como centros de consumo com o crescimento de turismo em massa e indústrias ligadas ao lazer como centros de compras, lazer, cultura e turismo.
- Atrair funções de “comando e controle” como serviços financeiros e de negócios, seguros, pesquisa e desenvolvimento e atividades administrativas em grande escala.
- Mecanismos de distribuição de bens e rendas organizados por meio de instituições privadas como igrejas, instituições de caridade, sin-

dicatos, partidos políticos. Porém, a fonte mais importante é o governo com políticas tributárias ou de aquisições e investimentos. Um exemplo seriam os gastos militares deficitários nos Estados Unidos (EUA) que sustentam algumas economias urbanas.

A diminuição de barreiras espaciais cria uma sensação de insegurança e intensifica a competição espacial entre os países, regiões e cidades, resultando em um recuo em relação à geopolítica de localização, do protecionismo, da xenofobia e do “espaço defensável”. Harvey recomenda que seja feita uma busca de identidade e a definição de uma política de lugar, de forma que a região tenha uma identidade e que seja única (Harvey, 1990).

Kenney e Zysman (2016) discutem a questão do que chamaram de Economia das Plataformas que, de alguma forma, complementa Harvey (1990). A discussão é sobre as plataformas como Google, Uber, Airbnb, Alexa e tantas outras que estão, com as tecnologias de rede, *big data* e o acesso direto ao cidadão por meio de seus celulares, revolucionando processos tradicionais como alugar imóveis, fazer compras e pegar um táxi. Ocorre a concentração de muitas informações sobre pessoas, hábitos individuais de consumo e outros em poder de poucas empresas, provocando a necessidade de reorganização dos empregos e excluindo indivíduos do processo produtivo, pressionando preços dentre outros de uma forma global, invadindo os países e as cidades.

A introdução de novas tecnologias traz a questão de se ocupar espaços novos que não estavam cobertos pela legislação. A regra no Vale do Silício não é pedir permissão, mas sim pedir perdão, ou seja, quem escreve o código está pensando nas implicações sociais dessas aplicações? (Kenney e Zysman, 2016). Esta discussão deveria estar na pauta dos governantes para a gestão pública estabelecer os limites de modo a evitar abusos. Também deve ser lembrado que uma legislação excessivamente protetiva leva à perda de competitividade da economia em um nível global. A tarefa mais difícil é achar esse ponto de equilíbrio.

Embora na época de elaboração daquele texto nem houvesse internet da forma que temos hoje, Harvey (1990) foi capaz de vislumbrar o que está sendo vivido nos dias atuais que é a denominada transformação digital e que foi drasticamente acelerada pela pandemia. Praticamente todas as tecnologias utilizadas durante a pandemia já estavam disponíveis, mas eram muito pouco utilizadas, fosse por falta de oportunidade, desconhecimento da ferramenta, ou mesmo, barreiras com relação a sua utilização. Com a imposição do *lockdown*, durante a pande-

mia do COVID-19, com o cerceamento de sair de casa, foi intensificado o uso de videoconferências, massificado o teletrabalho e, a telemedicina também começou a ser utilizada de forma mais intensa. No retorno às atividades presenciais, ocorreram diversas mudanças.

Houve a continuidade do trabalho remoto, agora parcial com jornadas híbridas, contribuindo para a redução dos congestionamentos. Ocorreu uma melhor estruturação da telemedicina, permitindo apoio de especialistas a profissionais que atuam em locais remotos. Na esfera da educação, a mudança brusca foi problemática, pois nem professores, nem alunos estavam preparados para o ensino à distância, levando à necessidade de serem desenvolvidos métodos de ensino melhores, com maior eficácia e produtividade.

Esse conjunto de novas tecnologias, se organizado de forma consistente, possibilita acelerar o desenvolvimento da sociedade como um todo, permitindo queimar etapas e trazer toda a população para um nível melhor de educação e qualificação. Tais projetos necessitam ser organizados de forma consistente, com continuidade em longo prazo, associados com o envolvimento de toda a sociedade, visando extinguir os analfabetos digitais e criando um patamar mínimo de dignidade, educação e cidadania.

Um bom caminho seria as cidades criarem um ambiente apropriado para a vida das pessoas, de forma que o cidadão seja atraído para nela morar e encontrar tudo que necessita e, principalmente, para ter uma vida de qualidade expressa por moradia adequada, oportunidades de trabalho, educação, segurança, opções de lazer e, além de tudo, desenvolver o sentimento de pertencimento que este lugar é seu e que possa influenciar nos seus destinos.

Esse tipo de trabalho somente pode ser feito se houver planejamento, organização, trabalho contínuo e de longo prazo para uma cidade que atenda as demandas sociais, econômicas e culturais.

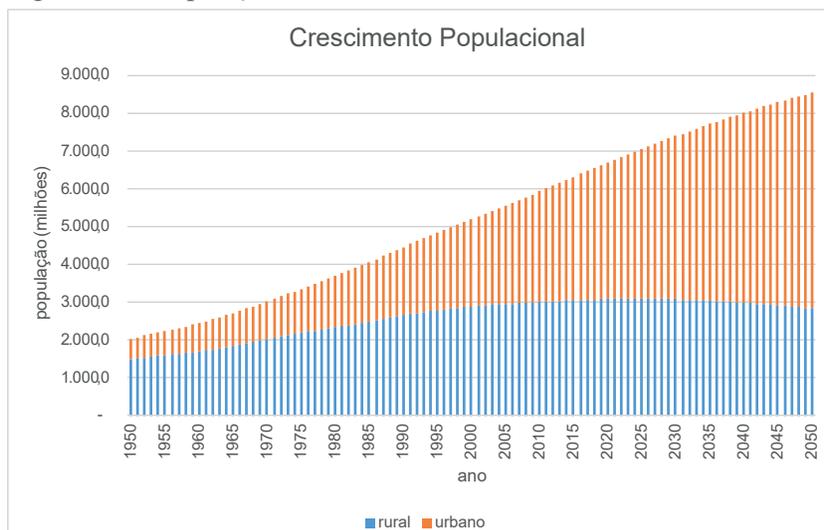
8.1 Crescimento Populacional e as cidades

Os estudos referentes à população no mundo indicam que as concentrações urbanas deverão abrigar em 2050¹ quase 70% da população

¹ População total urbana e rural, dada como estimativas para 2016 e projeções da ONU para 2050. As projeções são baseadas nas Perspectivas de Urbanização Mundial da ONU e seu cenário de fertilidade mediana. Fonte: OWID based on UN World Urbanization Prospects 2018 and historical sources. Disponível em: [OurWorldInData.org/urbanization](https://ourworldindata.org/urbanization) CC BY. Acesso em: 07 out. 2022.

do planeta, conforme ilustrado na Figura 8.1 (Ritchie, Roser, 2018). Em 1950, com uma população do planeta de 3 bilhões de pessoas, 26,5% estavam nas regiões urbanas. Em 2022, o planeta possui cerca de 6,8 bilhões de pessoas, com 54,9% nas regiões urbanas. A projeção para 2050 é um total de 8,5 bilhões de pessoas, com 66,8% nas regiões urbanas.

Figura 8.1 – População urbana e rural no mundo de 1990 a 2050



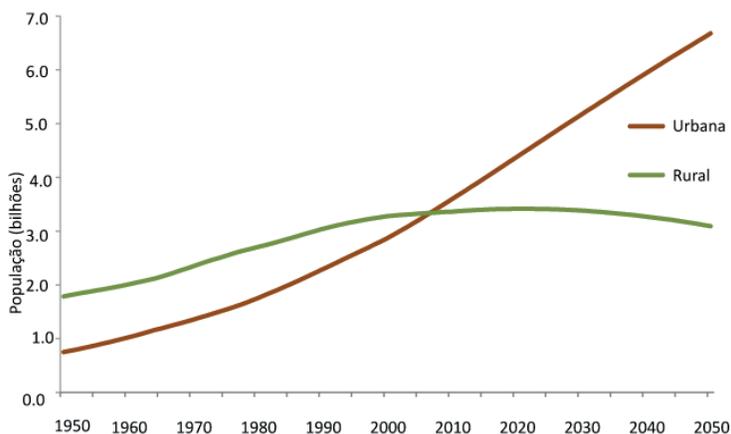
Fonte: OWID baseado em UN World Urbanization Prospects 2018. Bilhões de habitantes/ ano (1990-2050) (ONU, 2018).

Conforme apresentado na Figura 8.2, a tendência da permanência do processo de urbanização permanece ao redor do mundo, o qual se espera crescimento em todas as regiões. Entretanto, puxado pela Ásia e pela África, regiões no mundo que ainda mantém uma grande parte da população vivendo no ambiente rural (United Nations, 2019). Destaca-se que de 1975 a 2020, o número de cidades no mundo dobrou para 14.000. Entretanto, é esperado que essa velocidade de crescimento seja reduzida e haja um aumento de 3.000 novas cidades nos próximos 50 anos (UN-Habitat, 2022).

Em 2018, 55% da população mundial já residia em áreas urbanas, espera-se que até 2050, mais de 70% da população mundial esteja vivendo em áreas urbanas. Estima-se que, até 2050, a América Latina e Caribe e a América do Norte apresentem mais de 80% de sua população vivendo em áreas urbanas. Já na Europa, a estimativa é de cerca

de 74% e na Oceania de 68%. África e Ásia são as que permaneceram com um percentual menor, cerca de 42,5% e 49,9% respectivamente, apresentando grande potencial de apresentarem um crescimento futuro mais rápido que as demais regiões (United Nations, 2019).

Figura 8.2 – População rural e urbana no mundo, 1950 a 2050



Fonte: United Nations (2019).

Apesar de a agricultura ainda representar uma parte da produção de riqueza, mesmo apresentando declínio em relação à indústria e serviços, serão as cidades a força e o centro de concentração econômica de uma nação no contexto da sociedade do conhecimento, pautada em serviços. Espera-se que muitos dos que trabalham no campo morarão em pequenas cidades próximas ao local de trabalho nos próximos anos. Isso porque as cidades proporcionam serviços e lazer que não estão disponíveis no campo.

Destaca-se que apenas alguns países abrigam metade da população urbana do mundo. A China tem a maior população urbana (837 milhões), seguida pela Índia (461 milhões), representando, os dois países, 30% da população urbana mundial. Se somarmos a população urbana de mais cinco países, Estados Unidos da América (269 milhões), Brasil (183 milhões), Indonésia (148 milhões), Japão (117 milhões) e Rússia Federação (107 milhões), tem-se metade da população urbana mundial regiões (United Nations, 2019).

É esperado que o aumento da população urbana mundial esteja concentrado em alguns poucos países. Como exemplo, se juntarmos o

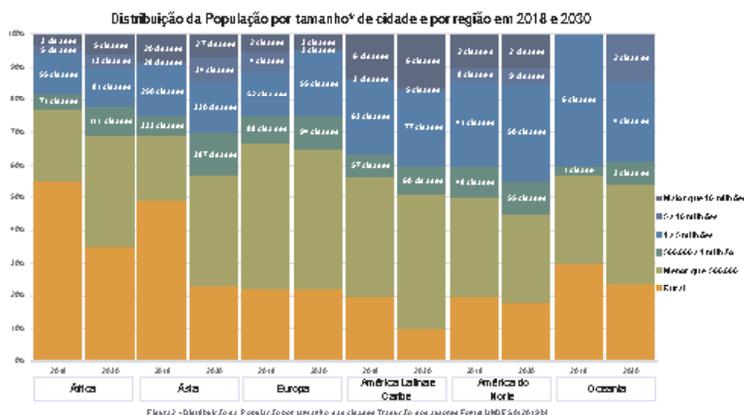
crescimento esperado da China, da Índia e da Nigéria, eles responderam por mais de um terço do aumento projetado até 2050. A Índia irá liderar esse movimento, a sua área urbana deverá crescer em 416 milhões de pessoas, já na China o número cai para 255 milhões e na Nigéria para 189 milhões. De qualquer forma representam um grande crescimento.

Segundo relatório das Nações Unidas (2019), se juntarmos mais cinco países a esse grupo, eles responderão por metade do aumento total da população urbana entre 2018 e 2050. Esses países são: Bangladesh, República Democrática do Congo, Indonésia, Paquistão e Estados Unidos da América, que devem contribuir com mais de 50 milhões cada um com o aumento da população urbana. Já em alguns países, a população urbana diminuirá. No caso do Japão, um dos líderes em urbanização, espera-se uma queda de 13,5 milhões em sua população urbana (United Nations, 2019).

Destaca-se que o nível de renda dos países interfere no ritmo da urbanização. A maioria dos países de renda alta e de renda média alta possuem altos níveis de urbanização. Já países de renda baixa apresentam baixos níveis de urbanização regiões (United Nations, 2019).

A distribuição dessa população nas regiões urbanas e rurais por tamanho de cidade e por continente está ilustrada na Figura 8.3. Pode-se verificar que em todas as regiões do planeta, há uma redução da população na área rural (UNDESA, 2019b).

Figura 8.3 – Distribuição da população nas cidades



*Nota: UNDESA (2019b). A população das cidades com menos de 500.000 habitantes é estimada pela distribuição da população urbana total e a população das cidades com 500.000 habitantes ou mais. O tamanho das cidades com menos de 500.000 habitantes não foi estimado.
Disponível em: https://www.un.org/en/development/desa/policy/2019/pubs/20190421/20190421_urban_cities_in_2018_data_booklet.pdf.

Os países relativamente mais pobres tanto da África Subsaariana

quanto os do sul da Ásia serão responsáveis pela maior parte do crescimento populacional até 2040 e apresentarão um rápido processo de urbanização. Esse rápido processo de urbanização deverá ser acompanhado por uma incapacidade de oferta de uma infraestrutura adequada, como saneamento, transporte, energia, e de um sistema educacional que ofereça qualidade de vida e possibilite o crescimento econômico dessas duas regiões. Também aumentam a vulnerabilidade dessas cidades a eventos climáticos extremos. As altas taxas de natalidade, desemprego crescente, o baixo nível de renda e a insegurança alimentar crescente são alguns dos elementos de deverão estar presentes nessas cidades dessas regiões e as manterão com baixa qualidade de vida (NIC, 2021).

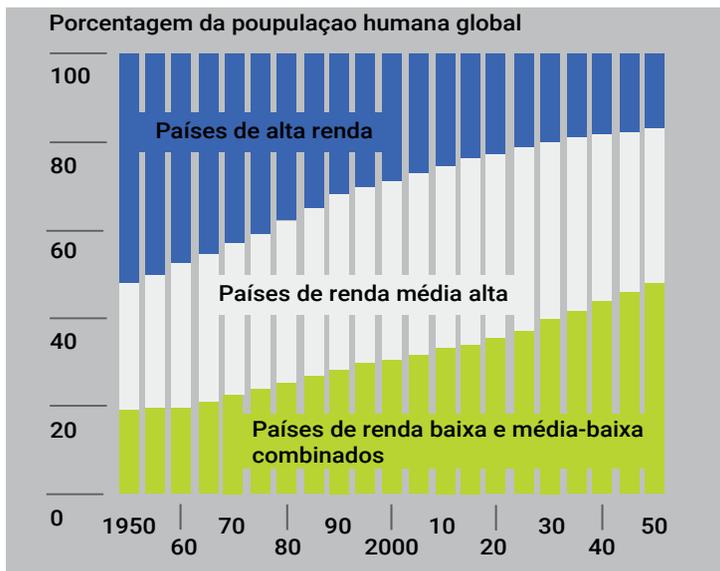
Destaca-se que em 1950, mais da metade dos habitantes que residiam em cidades viviam nos países de alta renda, já a expectativa para 2050, é que metade de quem habita as cidades no mundo residirão nos países mais pobres. Segundo as projeções da Divisão de População da ONU, o número de residentes urbanos dos países pobres provavelmente aumentará de 1 bilhão para mais de 2,5 bilhões até 2040. A África Subsaariana contribuirá com quase metade desse crescimento e o Sul da Ásia com um terço (NIC, 2021). Como exemplo, de 1949 a 2018, a população rural da China reduziu quase 50%, saindo de 89,36% em 1949 para 40,42% em 2018, segundo Departamento Nacional de Estatísticas da China.² Na Figura 8.4, é possível observar a evolução da distribuição do percentual da população urbana por renda dos países. Os fatores que mais contribuem para o crescimento da urbanização é o crescimento da população, a migração da população rural para áreas urbanas, em especial na África e na Ásia, conforme já havia sido destacado por Marcial et al. (2015).

Toda cidade que possui mais de 10 milhões de habitantes é classificada como uma megacidade. Elas são consideradas notáveis não somente por seu tamanho populacional, mas também pela concentração de atividade econômica e de renda, concentrando grande quantidade de riqueza. Em geral, atuam como hubs para mercados financeiros ou grandes corporações e servem como conectores para os fluxos globais de capitais e talentos. Em 1990, havia 10 cidades ao redor do mundo com mais de 10 milhões de habitantes. Em 2018, esse número passou para 33 cidades e a estimativa é de que até 2040, esse número chegue a

² Disponível em: [http://portuguese.xinhuanet.com/2019-09/03/c_138361944.htm#:~:text=Beijing%2C%20set%20\(Xinhua\),em%202018%2C%20segundo%20o%20%C3%B3rg%C3%A3o](http://portuguese.xinhuanet.com/2019-09/03/c_138361944.htm#:~:text=Beijing%2C%20set%20(Xinhua),em%202018%2C%20segundo%20o%20%C3%B3rg%C3%A3o). Acesso em: 4 jan. 2023.

43 cidades (Nações Unidas, 2019; UNDESA, 2019b). A população global das megacidades representa 13% dos habitantes urbanos do mundo.

Figura 8.4 – Participação da população urbana global total por grupo de renda, 1950-2050



Fonte: NIC(2021).

Obs.: Os centros urbanos dos países pobres estão se expandindo muito mais rapidamente do que os dos países mais ricos. Em 1950, mais da metade dos habitantes das cidades do mundo viviam em países de alta renda; em 2050, quase metade estará em países pobres (NIC, 2021).

Estimativas para 2022 indicam que as maiores cidades do mundo são Tóquio, no Japão com cerca de 37,0 milhões de habitantes e Deli, na Índia com aproximadamente 29,0 milhões de habitantes. Dentre as 15 maiores cidades do mundo, a maioria estão localizadas na Ásia. Exceções para a Cidade do México e São Paulo nas Américas, e Cairo, Quinchasse (Kinshasa), capital, maior cidade do Congo, e Lagos, maior cidade da Nigéria, sendo as últimas na África.³

Poucas foram as estimativas encontradas para 2040. Não há também um consenso quanto a quais serão as maiores, entretanto Xangai e Tóquio aparecem entre as três primeiras colocadas como sendo

³ World City Populations 2022. Disponível em: worldpopulationreview.com; World Population. Disponível em: PopulationU.com. Acesso em: 13 maio 2022.

candidatas para estarem entre as três maiores cidades do mundo. Independente da classificação, que varia de acordo com a metodologia utilizada, e considerando-se a lista das 15 megacidades listadas, a maioria estaria na Ásia (representando 60% do total). São cidades comumente listadas: Deli (Índia), Xangai (China), Tóquio (Japão), Daca (Bangladesh), Mumbai (Índia), Karachi (Paquistão), Kolkata (Índia). Na África, com 26% dessas cidades, destacam-se Cairo (Egito), Quinxassa (Congo), Lagos (Nigéria) sendo as cidades mais listadas. A Cidade do México (México) e São Paulo (Brasil) também são comumente listadas entre as 15 megacidades que existirão em 2040.

As cidades com população entre 5 e 10 milhões de pessoas deverão evoluir de 48 em 2018 para 66 em 2030 (UNDESA, 2019b). Enquanto as cidades com população entre 1 e 5 milhões de pessoas deverão evoluir de 467 em 2018 para 597 em 2030 (UNDESA, 2019b).

As pequenas⁴ e médias⁵ cidades representarão uma proporção ainda maior da população urbana em 2040. Parte desse movimento pode ser explicado pela migração do campo para as cidades, pelo avanço das tecnologias da informação e comunicação (TIC) que proporcionaram trabalho híbrido, acelerado pela pandemia do COVID-19, que gerou uma migração dos grandes centros para as pequenas e médias cidades (UN-Habitat, 2022).

Por exemplo, os dados do Censo dos Estados Unidos mostram que declínios líquidos na população de 2020 a 2021 ocorreram em Los Angeles (179.757) e em Manhattan (113.642). Embora esses movimentos possam ser temporários, sinalizam o que pode ocorrer com as cidades no futuro, à medida que mais trabalhadores em áreas baseadas no conhecimento trabalhem remotamente ou em formato híbrido (UN-Habitat, 2022).

Embora a população de Tóquio deva diminuir, estima-se que a cidade permanecerá a maior do mundo até 2030, com aproximadamente 37,0 milhões de habitantes, seguida por Nova Deli, com população estimada em 32,0 milhões, Bombaim, com 29,0 milhões, Daca, com 24,0 milhões, Calcutá, com 23,0 milhões e Nova Iorque, Cidade do México, Karachi e São Paulo, cada uma com 22,0 milhões. Estima-se que Tóquio, em 2030, deva ser ultrapassado por Nova Dehli tornando-se a maior metrópole do mundo com 38,9 milhões de habitantes (UN-WUP, 2018).

4 Uma cidade é considerada pequena se possui entre 50 a 250 mil habitantes.

5 Uma cidade é considerada média se possui entre 250 mil a um milhão de habitantes.

Em 2022, mais de 80% do PIB global é gerado nas cidades, esse percentual tende a aumentar com o aumento da produtividade e da inovação.⁶ Uma pequena quantidade de cidades ao redor do mundo concentra mais da metade de todo o PIB global. As principais em 2022 são: Nova York (US\$ 1.800 bilhões), Los Angeles (US\$ 1.105 bilhões), Chicago (US\$ 703 bilhões), Dallas (US\$ 592 bilhões), nos Estados Unidos; Tóquio (US\$ 1.557 bilhões) e Osaka (US\$ 656), no Japão; Londres, na Inglaterra (US\$ 1.089 bilhões); Paris, na França (US\$ 836 bilhões); Beijing, na China (570 bilhões) (Knight Frank, 2018).

De acordo com o relatório das Organizações das Nações Unidas UN-Habitat de 2022, as cidades apresentam muitos desafios globais que vão da extrema pobreza e desemprego à degradação ambiental e às alterações climáticas. Mesmo que a urbanização ofereça uma grande oportunidade para orientar a agenda de desenvolvimento sustentável, se não planejada e for mal administrada, a própria urbanização tem o potencial de ampliar os problemas a resolver.

Observa-se que a falta de planejamento resultou em desordem econômica, agitação civil, congestionamento e degradação ambiental bem como aumento de aglomerações subnormais (as chamadas favelas) (UN-Habitat, 2016).

Na reflexão colocada pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) em parceria com o observatório NETEXPLO⁷ (2019): “(...) se tornou quase inquestionável, uma utopia social, um cenário de alta tecnologia e um enorme mercado de vendas, de que precisamos mudar radicalmente nossas cidades”. O aumento da densidade populacional nas cidades não é novidade, mas está atingindo níveis exponencialmente mais altos. A população de Xangai aumentou 143% entre 1990 e 2015, passando de 1.786 para 4.215 habitantes por quilômetro quadrado, com picos de densidade maiores mostrando um crescimento de 33.000 para 77.000. A massa da população urbana futura será cosmopolita e multicultural devido ao nomadismo, escolhido por uns e forçado para outros, em decorrência de desastres naturais e sociais.

De acordo com o observatório (NETEXPLO, 2019), em 2015, cerca de 40% da população de Londres era composta por habitantes “nascidos no exterior” (situação semelhante à de Nova York), represen-

6 Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview>. Acesso em: 4 jan. 2023.

7 A Netexplo, observatório independente que estuda o impacto da tecnologia digital na sociedade e nos negócios, é parceira da UNESCO desde 2011.

tando um aumento de 15% desde 1990. Em relação à educação em Londres, 58% da população é descrita como tendo “ensino superior”, contra 38% em Nova York e apenas 15% no Rio de Janeiro, mas a proporção está aumentando em todos os lugares. Embora existam bolsões de populações sem instrução em favelas ou bairros semi-excluídos, o nível médio de educação da população mundial média está aumentando.

Frente ao exposto, um desafio muito grande nas megacidades é a administração. O século passado deu origem a mais de 30 megacidades em todo o planeta. De acordo com a pesquisa Juniper/Intel (2018) a atratividade das cidades se baseia na esperança de maior poder aquisitivo por meio de maiores oportunidades, por uma melhor qualidade de vida. Essa esperança, portanto, cria pressão para as cidades.

8.2 Crescimento urbano

Durante os próximos 20 anos, o sucesso ou fracasso das cidades moldará as oportunidades e a qualidade de vida de uma parcela crescente da população mundial. Espera-se que a parcela da população urbana aumente de 56% (2020) para quase 67% em 2040, com quase todo o crescimento no mundo em desenvolvimento (NIC, 2021). Globalmente, as grandes cidades com mais de 1,0 milhão de habitantes têm crescido a uma taxa duas vezes maior que a da população geral e, quase 30% da população mundial viverá em uma megacidade até 2035, acima dos 20% em 2020, de acordo com o relatório. Alguns dos países menos desenvolvidos do mundo terão suas populações urbanas que mais crescem no mundo.

Cada grande região do mundo possui suas características e resultados de desenvolvimento únicos e que devem ser refletidos em políticas públicas para alcançar melhores futuros para a cidade. Idealmente, essa diversidade implicará que cada cidade terá de projetar sua jornada futura para refletir a combinação única de oportunidades e restrições que enfrentará. A urbanização continuará sendo um processo transformador, mas desigual e que exigirá respostas diferenciadas. Ao mesmo tempo, existem áreas de convergência em todo o contexto urbano. Segundo os dados da UN-Habitat (2022), a evolução e o crescimento da população até 2050 está representada na Tabela 8.1. Já a taxa de crescimento está apresentada na Tabela 8.2.

Nesse sentido, percebe-se que a taxa de crescimento em regiões menos desenvolvidas seria bem maior do que as de regiões mais de-

envolvidas, com destaque para os países do continente africano, com taxa superior a 300% de crescimento (2015-2050). O crescimento urbano esperado no mundo desenvolvido será impulsionado em parte pela migração internacional, principalmente de países em desenvolvimento, que responde por cerca de um terço do crescimento urbano (UN-Habitat, 2008) e por 55% do processo de migração global (UN-Habitat, 2009).

Tabela 8.1 – População urbana e nível de urbanização em porcentual.

Region	População urbana (milhão)								% de pessoas em áreas urbanas							
	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mundial	3.981	4.378	4.774	5.167	5.555	5.938	6.312	6.680	53,9	56,2	58,3	60,4	62,5	64,5	66,4	68,4
Região mais desenvolvida	979	1.003	1.027	1.049	1.070	1.090	1.108	1.124	78,1	79,1	80,2	81,4	82,7	84,0	85,4	86,6
Região menos desenvolvida	3.002	3.375	3.747	4.117	4.485	4.847	5.204	5.556	49,0	51,7	54,3	56,7	59,0	61,3	63,4	65,6
África	491	587	698	824	966	1.125	1.299	1.489	41,2	43,5	45,9	48,4	50,9	53,6	56,2	58,9
Ásia	2.119	2.361	2.589	2.802	2.998	3.176	3.335	3.479	48,0	51,1	54,0	56,7	59,2	61,6	63,9	66,2
Europa	547	556	565	572	580	587	593	599	73,9	74,9	76,1	77,5	79,0	80,6	82,2	83,7
América Latina e Caribe	505	539	571	600	626	649	669	685	79,9	81,2	82,4	83,6	84,7	85,8	86,9	87,8
América do Norte	290	304	319	334	349	362	375	386	81,6	82,6	83,6	84,7	85,8	86,9	88,0	89,0
Oceania	26	28	30	32	34	36	39	41	68,1	68,2	68,5	68,9	69,4	70,2	71,1	72,1

Fonte: UN-Habitat (2022).

Tabela 8.2 – Taxa média anual de crescimento (%) (2015-2050)

Region	Taxa média anual de mudança na população urbana (%)							
	2015-2020	2020-2025	2025-2030	2030-2035	2035-2040	2040-2045	2045-2050	2015-2055
Mundial	1,90	1,73	1,58	1,45	1,33	1,22	1,13	1,48
Região mais desenvolvida	0,50	0,46	0,44	0,40	0,36	0,32	0,28	0,39
Região menos desenvolvida	2,34	2,09	1,88	1,71	1,56	1,42	1,31	2,09
África	3,58	3,44	3,32	3,19	3,04	2,89	2,71	3,17
Ásia	2,16	1,84	1,58	1,35	1,15	0,98	0,84	1,41
Europa	0,35	0,30	0,28	0,26	0,25	0,22	0,17	0,26
América Latina e Caribe	1,30	1,15	1,00	0,85	0,72	0,59	0,47	0,87
América do Norte	0,95	0,96	0,92	0,84	0,75	0,67	0,62	0,82
Oceania	1,42	1,30	1,24	1,18	1,15	1,12	1,07	0,89

Fonte UN-Habitat (2022).

Esta tendência continuará no futuro previsível, uma vez que a população, na maioria dos países em desenvolvimento, deverá aumentar nas próximas décadas colocando assim pressão migratória sobre as gerações futuras. Ondas crescentes de migração internacional significam que as áreas urbanas em todas as partes do mundo estão se tornando cada vez mais multiculturais, o que enriquece as cidades sob o ponto de vista da diversidade cultural, mas, traz novos desafios como a

xenofobia (UN-HABITAT, 2022).

As migrações causam dois impactos: primeiro, a imigração é um elemento chave para o crescimento das cidades. De acordo com a NUA⁸ (MORENO, CLOSS, 2022), as migrações tornam os lugares mais diversos e aumentam a urbanização. Segundo, os novos residentes demandam necessidades específicas durante os momentos das crises e podem se tornar agentes de desenvolvimento quando são adotadas políticas corretas. Devido às crises, guerras e rupturas de governos há um aumento de refugiados que têm migrado para diferentes países e há os indivíduos que se movem de um país para outro de forma totalmente ilegal (ICE⁹, 2019).

A expansão da população urbana e o aumento da migração interna ou externa resultarão em 1,6 bilhão de novos residentes urbanos em todo o mundo até 2040. Cerca de 80% deste crescimento urbano acontecerá em países menos preparados para melhorar os padrões de vida, segundo dados da ONU¹⁰ (UNHCR¹¹, 2021). Um efeito imediato é a ampliação de áreas de agrupamentos subnormais (favelas) nas cidades, o que aumenta os problemas referente à higiene, condições precárias de saúde e habitabilidade, crimes, poluição e outros. O número de residentes urbanos em países pobres provavelmente aumentará em 1 bilhão para mais de 2,5 bilhões até 2040, de acordo com projeções da Divisão de População da ONU.

Mas o crescimento urbano não está somente relacionado ao crescimento populacional, apesar deste ser o principal fator da expansão da cidade uma vez que, todos ocupam um espaço e, a correlação é direta entre expansão urbana/contingente populacional.

No entanto, o fenômeno de expansão física urbana para abrigar o aumento populacional acaba por trazer consequências seja para a população, bem como, para a gestão. Dentre estas podem ser mencionados: o adensamento populacional de algumas regiões, a ocupação irregular de vazios urbanos (favelas), ocupação de áreas preservadas ou mesmo de risco, além da necessidade de expansão da infraestrutura urbana.

8 NUA = *New Urban Agenda*.

9 ICE U.S. Immigration and Customs Enforcement Fiscal Year 2019 Enforcement and Removal Operation Report. Disponível em: <https://www.ice.gov/sites/default/files/documents/Document/2019/eroReportFY2019.pdf>. Acesso em: 28 set. 2022.

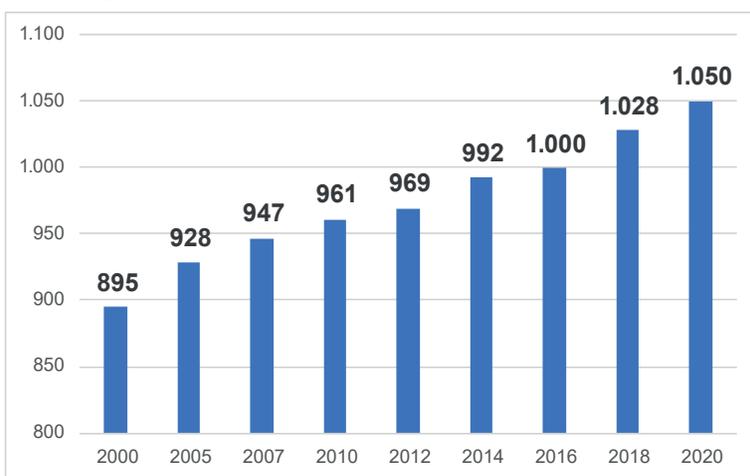
10 ONU – Organização das Nações Unidas.

11 UNHCR – The UN Refugee Agency. Global Compact on Refugees; Good Practices & Innovative Approaches by Cities. Disponível em: https://www.acnur.org/portugues/wp-content/uploads/2021/09/WhatCitiesAreDoing_final.pdf. Acesso em: 28 set. 2022.

A ampliação da mancha urbana para abrigar o crescimento populacional promove também alguns fatores diferenciados, tais como a conurbação e a ocupação do cinturão verde, ou afastamento deste. São elencados a seguir os desafios apontados por especialistas.

Se, por um lado, a urbanização está criando oportunidades significativas para o desenvolvimento social e econômico e para uma vida mais sustentável, ela exercerá pressão sobre infraestrutura e recursos naturais. Como exemplo, a urbanização poderá agravar o esgotamento ambiental e aumentar as tensões sobre recursos como água, energia e infraestrutura, que são necessários para apoiar grandes centros populacionais. Além disso, irá pressionar os serviços de infraestrutura, como habitação, transporte, energia, saneamento e telecomunicações, bem como emprego e serviços básicos como educação e saúde. Outro desafio refere-se ao crescimento, nos últimos anos, das pessoas que vivem em favelas no mundo (Figura 8.5).

Figura 8.5 – Número de pessoas vivendo em favelas de 2000 a 2020 (em bilhões)



Fonte: Statista (2023).

A urbanização representa um desafio importante para a governança. Uma maior potência demográfica e econômica das cidades poderá gerar fortes implicações políticas, como a pressão sobre os governos centrais para descentralizar os serviços públicos (EUISS/ESPAS, 2011). A urbanização tende a aumentar as reivindicações, por parte de cidadãos, por eleições diretas das autoridades das cidades e por demo-

cracia participativa, podendo esbarrar em culturas políticas existentes em alguns países (EUISS/ESPAS, 2011).

A maior parte do crescimento urbano tende a ocorrer nas cidades menores que se expandem ao longo das rodovias e do litoral, quase sempre sem um crescimento dos empregos formais e sem uma oferta adequada de serviços (NIC, 2008).

Diante desses desafios é possível questionar se até 2040, haverá qualidade de vida nas megacidades ou se haverá agravamento da exclusão social e da pressão sobre os serviços públicos.

8.3 Urbanização e Cidades Inteligentes

Frente aos desafios dos últimos cinquenta anos, as cidades precisaram ser repensadas, seja por uma urbanização acelerada, ou pela incorporação das novas tecnologias que permitem uma gestão mais integrativa e inteligente.

A urbanização pode ser entendida como o espaço onde ocorrem as “transformações do território, de modo como elas acontecem e aconteceram, dos sujeitos que as promovem, de suas intenções, das técnicas utilizadas, dos resultados esperados, dos êxitos obtidos, dos problemas que surgem, um de cada vez, induzindo novas transformações (Secchi, 2012, p. 18). Pode-se afirmar que a busca por cidades inteligentes se apresenta como um desafio frente aos múltiplos aspectos de atuação mas principalmente pela mudança que há de se processar na forma como os cidadãos encaram e enfrentam tais desafios.

Junto ao tema urbanização temos atualmente a questão sobre as Cidades Inteligentes. Não há um consenso na academia sobre quais são os aspectos e elementos que a definem. No entanto, a presença da tecnologia da informação é denominador comum nas abordagens. No relatório Mundial das Cidades (ONU-HABITAT, 2021) há um capítulo dedicado a elas e os desafios e ações que diferentes cidades estão enfrentando. Ela pode ser entendida como a “aplicação inovadora de informações e tecnologia para melhorar a qualidade de vida, a eficiência das operações e serviços e competitividade nas cidades“ (p.76).

A implementação de recursos para tornar uma cidade em inteligente também perpassa na adoção das denominadas energias limpas, a defesa dos recursos hídricos, ambientes urbanos produtivos (hortas urbanas), emissão zero de carbono dentre outros e, são medidas emergenciais a serem adotadas, principalmente, nas metrópoles e megalópoles visando a sustentabilidade e atingir métricas na ODS11 – Cidades

e Comunidades Sustentáveis, bem como as ISO 37.120/37122/37123.

Diversos modelos de Cidade Inteligente foram elaborados, no entanto, não há consenso, uma vez que a escolha deste dependerá da variável cultural, social e *econômica* da localidade a ser implementada.

O monitoramento do processo de urbanização e a gestão sustentável do seu crescimento serão a chave para o desenvolvimento bem-sucedido. Se bem geridas, as cidades poderão oferecer oportunidades importantes para o desenvolvimento econômico. A expansão do acesso aos serviços básicos para a população urbana densamente povoada é normalmente mais barata e menos prejudicial ao *meio ambiente* do que fornece o mesmo nível de serviços a uma população rural dispersa (KPMG, 2013; ONU, 2014). Para enfrentar os novos desafios ligados à rápida urbanização, se espera que o setor privado assuma mais funções de serviços públicos, surgindo novas questões sobre o controle democrático, a transparência e a prestação de contas (EUISS/ESPAS, 2011).

A mobilidade se tornará a norma para as elites de indivíduos nômades, que buscam constantemente uma megacidade que seja mais acolhedora ao seu oportunismo competitivo. As cidades serão os novos motores de crescimento da economia global, responsáveis por 80% do PIB global. “(...) não são os países que competem, mas sim as cidades. (...) a cidade terá que ganhar uma vantagem competitiva para se diferenciar. As cidades flexíveis e ágeis que podem diversificar seus recursos e oferecer oportunidades econômicas, sociais e culturais aos seus cidadãos sobreviverão. (...) produzir soluções inovadoras, inclusivas e éticas diante da multiplicação de riscos e ameaças emergirão como líderes. As cidades competirão e colaborarão globalmente como entidades interdependentes e conduzirão o futuro” (UNESCO, 2019).

De acordo com a pesquisa da McKinsey Global Institute MGI (2018), após uma década de experimentação (2007 a 2017), as cidades inteligentes entram na fase das soluções digitais. A pesquisa combina disciplinas da matriz *econômica*, o gerenciamento e as opiniões de líderes de negócios. A metodologia aplicada examina a tendência da indústria na visão micro, para entender a influência da visão macro que afetam a estratégia de negócio e as políticas públicas. Como uma parte das dimensões relevantes, as soluções digitais se apresentam como ferramentas para as cidades se tornarem excelentes. Com os vários aplicativos em uso em cidades, o Instituto constatou que melhorou entre 10% e 30% alguns indicadores de qualidade de vida. O relatório cobriu 20 países e cidades e 30 indústrias (MGI, 2018).

As soluções de tecnologia podem adicionar inteligência digital

aos sistemas urbanos existentes, possibilitando obter mais eficiência e, as cidades podem se tornar lugares mais produtivos para se fazer negócios. Com os aplicativos conectados pode haver informações transparentes e em tempo real nas mãos dos usuários, para ajudá-los a fazer as melhores escolhas. Em outra vertente, podem salvar vidas, prevenir crimes e reduzir a carga de doenças; também podem economizar tempo, reduzir o desperdício e até mesmo ajudar a aumentar a conexão social.

Nas cidades, segundo a pesquisa da MGI (2018), descobriu-se que as ferramentas podem reduzir as fatalidades em 8% a 10%; acelerar os tempos de resposta a emergências em 20% a 35%; reduzir o deslocamento médio em 15% a 20%; diminuir a carga de doenças em 8% a 15% e reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 10% a 15%, entre outros resultados positivos. Outro grupo de cidades analisadas pelo MGI (2018) mostra que as áreas urbanas mais ricas geralmente estão se transformando mais rapidamente. As megacidades asiáticas, com suas populações jovens de nativos digitais e grandes problemas urbanos para resolver, estão alcançando uma alta adoção da tecnologia.

O relatório mostra que o setor público é o proprietário natural de 70% das iniciativas de transformação digital. Grande parte deste investimento pode gerar um retorno positivo em poupança financeira direta ou oportunidade de gerar novas receitas. Mas 60% do investimento inicial necessário para implementar os aplicativos podem vir de atores privados. As tecnologias pesquisadas e analisadas podem ajudar as cidades a realizar progressos moderados ou significativos em direção ao atingimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS, Agenda 2030 da ONU). Por outro lado, as cidades inteligentes e a adoção das tecnologias podem impactar alguns setores da economia que deixarão de existir por substituição ao seu processo fabril e pode haver redução de emprego. No entanto, a tendência desta evolução demanda novas capacidades produtivas que apresentam oportunidades de novos mercados e novos tipos de trabalhos (MGI, 2018).

8.4 Os resultados da pesquisa

No levantamento realizado em 2021 (Marcial et al., 2021) o termo “Urbanização” englobou os subtemas: megacidades, índice de desenvolvimento humano (IDH) e desigualdade, qualidade de vida nas cidades, mobilidade urbana e violência urbana.

As duas tendências que apareceram nos estudos de 2015 no levantamento realizado em 2019 (Marcia et al., 2015; Marcial et al.,

2021) apresentam-se como incertezas, segundo a percepção de *experts* brasileiros e internacionais, a saber: (1) crescimento urbano desordenado, mantendo as cidades insustentáveis e vulneráveis; e (2) crescimento dos investimentos em cidade inteligente (*smart city*).

Uma possível explicação para esses resultados pode ser a diversidade da amostra que participou da pesquisa. Esses *experts* estão dispersos geograficamente, vivendo em cidades que apresentam realidades muito diferentes ao redor do mundo. Sendo assim, desenvolvem percepções diferentes a respeito do futuro das cidades, e refletem tais percepções em suas respostas.

Espera-se a consolidação das megacidades até 2040, segundo a visão dos *experts* internacionais. Por outro lado, não se sabe se haverá o deslocamento das pessoas para cidades menores com maior qualidade de vida, em especial se houver um avanço significativo do *home office*, incerteza apontada pelos *experts* brasileiros.

Estruturas urbanas mais equilibradas é uma tendência sinalizada pelos *experts* brasileiros, associada à oferta de estruturas de deslocamento e espaços mais verdes, com valorização dos espaços públicos. Espera-se também que as cidades sejam inteligentes, com a proliferação do uso da inteligência artificial (IA), da Internet das Coisas (IoT) e outras tecnologias como o uso de veículos autônomos.

Não é possível saber se as cidades estarão ou não mais adaptadas aos idosos, apresentando-se como uma preocupação tanto de *experts* nacionais quanto internacionais.

Segundo os *experts* brasileiros, espera-se a ocorrência de ruptura na mobilidade urbana causada pelo advento dos veículos elétricos terrestres e voadores. Espera-se a predominância do uso do transporte coletivo e ativo em relação ao individual bem como a proliferação de grandes linhas de transporte coletivo de massa de alta velocidade para o deslocamento entre as cidades.

Há a expectativa, segundo a opinião dos *experts* brasileiros, de crescimento da violência, em especial em função do fundamentalismo religioso, do aumento da criminalidade como resultado do aumento da desigualdade. Espera-se também a manutenção de altas taxas de criminalidade violenta nos países periféricos.

Tanto para *experts* brasileiros quanto para os estrangeiros é esperado o aumento da pobreza extrema e da desigualdade social. Por outro lado, espera-se o crescimento da melhoria da qualidade de vida da população na busca pela redução dos níveis de pobreza. Uma preocupação dos *experts* internacionais refere-se ao questionamento de se haverá

redução do direito à propriedade frente ao crescimento da desigualdade.

Os *experts* brasileiros apontam algumas possíveis rupturas como o avanço da tecnologia gerando desemprego em massa e convulsão social. Uma possível convulsão social advinda do crescimento da desigualdade, bem como ruptura social na Europa, resultado do descontrole do fluxo migratório.

8.5 Considerações Finais

Pode-se observar que há muitos fatos e ocorrências atuais que continuarão no seu ritmo tendencial, porque as forças que podem alterar seu curso estão dispersas em muitos locais ou canalizadas para os benefícios de grupos específicos. Os sinais fracos (ou incertezas) indicam que há várias decisões que devem ser escolhidas hoje para se chegar a um futuro comum e que seja bom para todos, na construção do futuro que se quer atingir.

Podem ser relatados os resultados dos países asiáticos que têm consistência e realizam planejamento de longo prazo desde a metade do século XX e colhem os frutos baseados em uma estrutura educacional com a melhoria do nível de escolaridade das pessoas, foco do país e consequente melhoria no nível do cidadão que lá reside.

Tomando esse caso como referência, se hoje for dado início à construção do futuro com o alinhamento das ações, daqui a vinte anos ter-se-á um ambiente melhor para cada cidadão. Conforme afirma Soupizet (2017) uma cidade mais humana, habitável, estruturada e capaz de atender às demandas dos seus cidadãos não se prevê, mas se constrói a partir de uma governança ativa. De acordo com Otto Scharmer (2012), autor da teoria U, para ocorrer a mudança é necessário que haja transformação. Para transformar, é necessário identificar e desenvolver agentes de transformação. A teoria U tem como objetivo desenvolver habilidades de lideranças que sejam capazes de gerar impacto social positivo no mundo por meio de decisões conscientes. Na visão do autor, o mundo passa por constantes mudanças e é necessário organizar as ações e percepções no sentido de encontrar soluções mais conscientes. Conforme descrito anteriormente sobre a situação global e os movimentos que têm ocorrido, o planeta dá sinais de uma crise ecológica, uma ampliação das desigualdades sociais e da saúde mental da sociedade, fato que demanda atenção para a realização de mudanças (Scharmer, 2012).

Desta forma, entre várias ações, as sementes sugerem o enten-

dimento das forças dos atores, o entendimento dos possíveis cenários futuros e a decisão de escolher os caminhos que permitam construir o futuro desejado por meio de ações que fortaleçam os bons caminhos e mitiguem os problemas.

Este documento desenvolveu o tema urbanismo e cidades inteligentes e visou identificar as megatendências mundiais para 2040.

Foram discutidos aspectos conceituais sobre os movimentos do urbanismo. Foi relatado também que atualmente há uma grande volatilidade do capital que, por um lado facilita a atração para investimentos e por outro, traz o risco da fuga de capital, isso implica à gestão urbana, criar espaços para a atração e retenção dos cidadãos bem como a atração de recursos para o desenvolvimento regional.

Na evolução do panorama de crescimento da população é mostrado que regiões, como a Europa, deverão sofrer uma forte redução de população e outras, como a África, um grande crescimento. Esses fatos deverão causar movimentos migratórios e, se não houver planejamentos adequados, haverá uma degradação da qualidade de vida urbana.

O item referente a tecnologia mostra os benefícios e caminhos que podem ser adotados na construção de cidades inteligentes com o uso massivo de tecnologias para melhorar a qualidade de vida para o cidadão e para apoiar a gestão pública.

Depois foram apresentados os potenciais problemas que as cidades poderão enfrentar. O crescimento urbano apontou um aumento populacional e os prováveis problemas de redução, aumento e migrações previstos nos estudos da ONU onde se pode denotar a tendência global para 2040 indicando também as forças estruturais e a dinâmica social resultantes de tal crescimento.

A seguir é discutida a metodologia utilizada na realização das oficinas com participação de especialistas brasileiros e do exterior. Este trabalho identificou seis sementes do futuro: megacidades, qualidade de vida, mobilidade urbana, violência urbana, IDH e desigualdade e cidades inteligentes.

Na análise dos resultados é identificado que são necessárias transformações profundas na sociedade. Para tanto é chamada a atenção para a criação de ambientes propícios à inovação com a formação de líderes de transformação e mudança.

O Brasil possui (e infelizmente está perdendo) uma infraestrutura com laboratórios, equipamentos e profissionais qualificados em diversas áreas e pode, se organizado de forma adequada, atrair projetos, indústrias e serviços de alta qualificação para serem aqui realizados

uma vez que há uma vantagem competitiva em termos de custos se comparados com os valores praticados internacionalmente.

Para finalizar, é importante lembrar que, do ponto de vista geográfico, o Brasil está localizado em uma posição privilegiada entre a Europa e os Estados Unidos, em uma latitude com fuso horário de poucas horas. Isto é particularmente conveniente para o turismo que permite deslocamentos relativamente curtos com um time lag de algumas horas e não atrapalha uma viagem de turismo de poucos dias. Para os negócios também é bastante conveniente tanto para viagens como para interações *online* dentro do horário comercial, muito diferente dos países localizados na Ásia. Isso vai permitir que a gestão urbana das regiões, segundo Harvey (1990), possa se organizar para desenvolver as suas vocações: aumento da capacidade como centro de produção, como centro de consumo, ou como centro de comando e controle.

Torna-se premente refletir sobre a cidade que temos e a que desejamos! As ações devem ser tomadas contemplando um devir, sem esquecer nosso passado multicultural e se tivermos consciência de que somos responsáveis pelo legado mundial que deixaremos às futuras gerações.

Apresenta-se a seguir a síntese das sementes de futuro identificadas neste capítulo.

- Crescimento do número de pessoas residindo em cidades no mundo. (Tendências)
- Os países relativamente mais pobres tanto da África Subsaariana quanto os do sul da Ásia serão responsáveis pela maior parte do crescimento populacional até 2040 e apresentarão um rápido processo de urbanização. (Tendências)
- Crescimento do número de megacidades no mundo, podendo chegar a 43 cidades em 2040 em sua maioria na Ásia e na África. (Tendência)
- As pequenas e médias cidades representarão uma proporção ainda maior da população urbana até 2040. (Tendência)
- Crescimento urbano desordenado, mantendo as cidades insustentáveis e vulneráveis a eventos climáticos extremos. (Tendência)
- Crescimento dos investimentos em cidade inteligente (*smart city*). (Tendência)
- Manutenção de altas taxas de criminalidade violenta, em especial nos países periféricos. (Tendências)
- Aumento da pobreza extrema e da desigualdade social. (Tendências)

- Manutenção dos países de renda alta e de renda média alta com mais altos níveis de urbanização. (Tendência)
- Até 2050, mais de 70% da população mundial estará vivendo em áreas urbanas. (Surpresa inevitável)
- África e Ásia apresentarão crescimento futuro mais rápido das cidades que as demais regiões até 2040. (Surpresa inevitável)
- As cidades com população entre 5 e 10 milhões de pessoas deverão evoluir de 48 em 2018 para 66 em 2030. (Surpresa inevitável)
- As cidades com população entre 1 e 5 milhões de pessoas deverão evoluir de 467 em 2018 para 597 em 2030. (Surpresa inevitável)
- É esperado que o aumento da população urbana mundial, esteja concentrado em alguns poucos países (China, Índia e Nigéria), que responderão por mais de um terço do aumento projetado até 2050. (Surpresa inevitável)
- A Índia será o país em que a população mais crescerá superando a da China. (Surpresa inevitável)
- Até 2040, o crescimento urbano se manterá de forma desordenada, mantendo as cidades insustentáveis e vulneráveis nos países desenvolvidos? (Incerteza)
- Até 2040, haverá o crescimento em todo o mundo dos investimentos em cidade inteligente (*smart city*)? (Incerteza)
- Até 2040, haverá o deslocamento das pessoas para cidades menores com maior qualidade de vida, em especial se houver um avanço significativo do *home office*? (Incerteza)
- Até 2040, as cidades estarão mais adaptadas aos idosos? (Incerteza)
- Até 2040, será comum nas cidades o uso de veículos elétricos terrestres e voadores? (Incerteza)
- Até 2040, haverá a proliferação de grandes linhas de transporte coletivo de massa de alta velocidade para o deslocamento entre as cidades? (Incerteza)
- Até 2040, haverá redução do direito à propriedade frente ao crescimento da desigualdade? (Incerteza)
- Até 2040, haverá qualidade de vida nas megacidades até 2040?

Minicurriculo dos autores em ordem alfabética

Amilcar Augusto Gouveia Filho, engenheiro eletrônico e de produção pela Faculdade Engenharia Industrial, com mais de 50 anos de atividades em Automação Industrial. Trabalha em Projetos com iluminação e energia fotovoltaica aplicada em Cidades Inteligentes. É mem-

bro do grupo de pesquisa CONECTICIDADE Laboratório de Cidades, Tecnologia e Urbanismo.

Bianca Bonachela de Oliveira, arquiteta e urbanista (FAU-USP), é auditora da certificação AQUA-HQE de edificações sustentáveis e inspetora de envoltória em treinamento de PBE Edifica, no Setor de Certificação e Inspeção em Sustentabilidade e Eficiência Energética na Construção Civil da Fundação Vanzolini. Possui pesquisas no campo de políticas de inserção de vegetação em cidades e microclima urbano.

Clarice Kobayashi, Engenheira Elétrica, mestranda em Governança, Tecnologia e Inovação e pós-graduada em Gestão de Conhecimento. Atua em planejamento de longo prazo, processo prospectivo e cenários futuros em transformações territoriais em Arranjos Produtivos Locais APL e urbanas em cidades sustentáveis e inteligentes. Coordena o subgrupo Planejamento de Longo Prazo em Cidades Inteligentes no CONECTICIDADE.

Elaine C. Marcial, Doutorado em Ciência da Informação, especialista em estudos de futuro e inteligência competitiva, Professora do Mestrado na Universidade Católica de Brasília (UCB) e Coordenadora do Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos na Universidade Católica de Brasília (NEP-UCB).

Marcelo Schneck de Paula Pessoa é professor do Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da USP desde 1987. Possui graduação, mestrado e doutorado na área de eletrônica e livre docência e Gestão da Tecnologia da Informação. É o coordenador do grupo de pesquisa CONECTICIDADE que tem por objetivo estudar cidades e regiões habitadas com uma visão sistêmica para realizar análises, planejamento e aplicações de tecnologias e processos para a configuração de cidades inteligentes e sustentáveis.

Maria Laura Fogaça Zei, arquiteta e urbanista, sócia da Alma Prima Inc. Mestra em Cidades Inteligentes e Sustentáveis e pós-graduada em Gestão Ambiental. É Head de conceito e arquiteta responsável pelo setor de investimentos com retrofit. É membro do grupo de pesquisa CONECTICIDADE Laboratório de Cidades, Tecnologia e Urbanismo.

Rita de Cássia Giraldi, Arquiteta e Urbanista, mestrado e doutorado em Ciências da Comunicação e Livre Docência na EACH-USP e professora de Pós-Graduação em Estética e História das Artes (MAC-USP). Especialista em estudos sobre Cidades Inteligentes e Qualidade de Vida.

Referências

CORRÊA, Roberto Lobato et al. Processos espaciais e a cidade. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, ano, v. 41, p. 100-110, 1979. Obtido no endereço.

Corrêa, Roberto Lobato. Processos Espaciais e a Cidade. Disponível em: <https://170.84.43.102/index.php/rbg/article/view/1407/1085> .

EUROPEAN UNION. INSTITUTE FOR SECURITY STUDIES. Global trends 2030 – Citizens in an interconnected and polycentric world. Paris: EUISS/ESPAS, 2011. Acesso em: 17 fev. 2014.

GIDEN, S. Espaço, Tempo e Arquitetura – o desenvolvimento de uma nova tradição. São Paulo: Martins Fontes, 2004.

GODET, Michel. Scenarios and strategic management. London: Butterworths Scientific, Ltd., 1987.

HARVEY, David. Between Space and Time: Reflections on the Geographical Imagination. Annals of the Association of American Geographers. Volume 80. 1990. Issue 3. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1990.tb00305.x>.

INTEL CORPORATION INTEL (2018). *SMART CITIES -WHAT'S IN IT FOR CITIZENS?* [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://newsroom.intel.com/wp-content/uploads/sites/11/2018/03/smart-cities-whats-in-it-for-citizens.pdf>. Acesso em: 04 out. 2022.

KENNEY, Martin; ZYSMAN, John The rise of the platform economy. Issues in *Science* and Technology. Summit on Human Gene Editing. Arizona State University. Spring 2016.

KOOLHAS, Rem. Três textos sobre a cidade. São Paulo: Gustavo Gilli, 2014.

KPMG INTERNATIONAL. Future State 2030: The global megatrends shaping governments. Toronto: KPMG, 2013. Disponível em: <http://www.kpmg.com/dutchcaribbean/en/Documents/Publications/FutureState2030WebAccessibleFINAL.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2014.

KNIGHT FRANK. The Wealth Report: The global perspective on prime property and investimento. 12th edition. Londres: Knight Frank LLP, 2018. Disponível em: <https://content.knightfrank.com/resources/knightfrank.com/wealthreport2018/the-wealth-report-2018.pdf>. Acesso em: 4 jan. 2023.

LEITE, C.; DI, J. Cidades sustentáveis, cidades inteligentes: desenvolvimento sustentável num planeta urbano. Porto Alegre, Rs: Bookman, 2012.

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE MGI (2018). *Smart Cities: Digi-*

tal solutions for a more livable future. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/operations/our%20insights/smart%20cities%20digital%20solutions%20for%20a%20more%20livable%20future/mgi-smart-cities-full-report.pdf>. Acesso em 03 out. 2022.

MARCIAL, E.C. et al. Megatendências mundiais 2030: o que entidades e personalidades internacionais pensam sobre o futuro do mundo. Brasília: Ipea, 2015.

MORENO, J. E.; CLOS, J. Urbanization and development: emerging futures. New York: Un Habitat, 2016. Disponível em: https://www.urbanagendaplatform.org/sites/default/files/2022-03/nua_handbook_14dec2020_2.pdf. Acesso em 28 set 2022

NATIONAL INTELLIGENCE COUNCIL NIC (2014). Global Trends 2025: A transformed world. Washington: NIC, 2008. Disponível em: http://www.dni.gov/nic/NIC_2025_project.html. Acesso em: 17 fev. 2014.

NATIONAL INTELLIGENCE COUNCIL NIC (2021). Global Trends - A More contested world. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.hsdl.org/?view&did=852278>. Acesso em: 5 out. 2022.

NETEXPLO. *Smart Cities: Shaping the Society of 2030*. UNESCO Ministère de la Transition écologique et solidaire, chargé des Transports, Paris, City Hall Ile-de-France Region: UNESCO United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization and Netexplo Publishing, 2019.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Programa das Nações Unidas para o *Meio Ambiente*. Caminhos para o desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza: síntese para tomadores de decisão. Brasília: Pnuma/ONU, 2011. Disponível em: <http://goo.gl/YHBkFb>. Acesso em: 18 jul. 2014.

RITCHIE, H. e Max ROSER, M. (2018). Urbanization. Published *online* at OurWorldInData.org. Retrieved from: ‘<https://ourworldindata.org/urbanization>’ [Online Resource] Acesso em 07 out. 2022.

SCHARMER, O. The conflict of our time. In Sustainable Development Drivers: The Role of Leadership in Government, Business and NGO Performance, edited by Kees Zoeteman, 319–334. Northampton, MA: Edward Elgar Publishing, Inc., 2012.

SECCHI, Bernardo. Primeira lição de urbanismo. São Paulo: Perspectiva, 2012.

SOUPIZET, J. F. Cidades inteligentes: Desafios para as sociedades democráticas. Coleção número 2: Ensaio Democracia Digital. Tradução:

Regina Marcia Teixeira. Revisão: Dorothée Bruchard. São Paulo: Fundação FHC/Centro Edelstein, 2017, jun. 2017. Disponível em: http://www.plataformademocratica.org/Arquivos/Cidades_inteligentes_desafios_para_as_sociedades_democraticas.pdf. Acesso em: 15 out. 2022.

SVEDIN, U.; LILJENSTRÖM, H. (2018). A Multilevel Approach to Urban Regional Agglomerations: A Swedish Case of Transition Paths toward a “Fossil-Free Society” by 2050. *Urban Agglomeration*, 21 mar. 2018. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367762.locale=fr>.

UNDESA (2019a). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*, United Nations, New York.

UNDESA (2019b). *Publications: 2018 revision of world urbanization prospects*. Disponível em: <https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>. Acesso em: 20 April 2022.

UN-HABITAT (2008). *State of the World’s Cities Report. World Cities Report 2008/2009: Harmonious Cities*, Earthscan, London and Sterling, VA.

UN-HABITAT (2009). *Global Report on Human Settlements 2009: Planning Sustainable Cities*, Earthscan, London and Sterling, VA

UN-HABITAT (2020). *Future Cities, New Economy, and Shared City Prosperity Driven by Technological Innovations*, UN-Habitat, Nairobi. Disponível em: https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/02/future_cities_new_economy_and_shared_city_prosperity_driven_by_technological_innovations_discussion_papers.pdf.

UN-HABITAT (2020). UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME. *The value of sustainable urbanization*. [s.l.] Nairobi, Kenya Un Habitati, 2020.

UN-HABITAT (2022). United Nations. *Envisaging the Future of Cities. World Cities Report. Unhabitat. 2022*. Disponível em: <https://unhabitat.org/knowledge/repository>. Acesso em: out. 2022.

UN-WUP. *World Urbanization Prospects - Economic & Society - The World’s Cities in 2018 – Data Booklet*. Disponível em: <https://esa.un.org/unpd/wup/>. Acesso em: 7 de out. 2022.

United Nations. Department of Economic and Social Affairs. *World Urbanization Prospects 2018. Highlights*. New York: UN, 2019. Disponível em: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP-2018-Highlights.pdf>. Acesso em: 13 maio 2022.

Parte III – Geopolítica

Por Elaine C. Marcial¹

A geopolítica mundial apresenta muito mais incertezas e desafios para o futuro da humanidade do que tendências. Não se sabe como se dará nas próximas décadas o concerto entre as nações e qual será o desfecho do jogo político que ora ocorre. As mudanças nesse ambiente têm sido grandes e estão ocorrendo em maior velocidade do que de costume.

Na pesquisa realizada pelo NEP-UCB (Marcial et al., 2021) observa-se o predomínio de alguns temas como:

- Novas disputas de domínio, destacando-se os tecnológicos, econômicos e ambientais. Subtemas como: 5G, carbono zero, minérios raros, oceanos, água e espaço, serão fontes de disputas e possíveis guerras.
- O choque entre civilizações, podendo gerar grandes conflitos e possíveis guerras.
- Aumento da desigualdade e da tensão social, questionando a governança pública nos países.

Novos atores surgem nesse ambiente como a busca cada vez maior da China por um maior protagonismo, colocando em xeque a hegemonia americana; o poder crescente de grandes corporações que passam a exercer uma atuação preponderante em alguns temas antes de domínio dos estados soberanos; e a África se despontando como um possível grande espaço consumidor, visto que é a região no mundo na qual a população mais cresce, conforme destacado no capítulo 3 e aponta sinais de desenvolvimento muito promovido por investimentos em sua maioria europeus e chineses.

Por outro lado, a União Europeia continuará envidando para

¹ Elaine C. Marcial, Doutorado em Ciência da Informação, especialista em estudos de futuro e inteligência competitiva, Professora do Mestrado na Universidade Católica de Brasília (UCB) Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos na Universidade Católica de Brasília (NEP-UCB).

manter-se como centro transnacional de influência, mesmo após a saída do Reino Unido e o risco de possível fragmentação do bloco, e o enfrentamento de uma das maiores crises energéticas. Por sua vez, os Estados Unidos também envidarão todos os esforços para manterem sua hegemonia na geopolítica mundial frente ao crescimento da importância econômica e geopolítica da Ásia.

Um mundo muito mais conflituoso se apresenta, em especial com o advento recente da Guerra da Ucrânia, abrindo espaço para que outros conflitos bélicos ocorram, gerando novas crises, e podendo alterar a estrutura das cadeias globais de valor existentes atualmente. Quais seriam as consequências de uma possível guerra sino-taiwanesa? Como ficaria a economia asiática e quais os reflexos para o restante do mundo se norte-americanos e europeus passarem a incentivar fortemente a alteração das cadeias de produção para nearshore (países próximos) e friendshore (países amigos)? Quais as consequências desses movimentos em termos da geopolítica mundial? E por fim, qual será o destino da Rússia após o fim da guerra da Ucrânia?

Esta parte do livro trata dessas questões e outras que irão impactar o ambiente *geopolítico* mundial nas próximas duas décadas.

Por fim, destaca-se que esses temas foram tratados por dois grupos de pesquisadores cujas análises estão descritas nos capítulos 9, pelo pesquisador Antônio dos Santos, e no 9b, pelos pesquisadores Giovanni Okado e Marcos Françaço.

Capítulo 9

Geopolítica mundial

Por Antonio dos Santos¹

¹ Antonio dos Santos é mestre em Segurança Internacional e Defesa pela Escola Superior de Guerra (ESG). Mestre em Ciências Militares pela ECEME. Especialista em Segurança Internacional e Defesa pela Escola Superior de Guerra (ESG). Analista de Geopolítica, Segurança e Defesa do Centro de Estudos Estratégicos da ESG. Membro do Grupo de Pesquisas do CNPq - *Design* de Jogos, Processo Decisório e Cenários Prospectivos.

9.1 Introdução

Esse capítulo explora o alcance das grandes tendências geopolíticas, não descurando de sua adjetivação, destacando sua relevância para as lideranças empresariais e burocracias do Estado nacional, ator e agente que detém a primazia de gerir o orçamento público e programar as políticas públicas. Apresenta as grandes tendências geopolíticas mais relevantes, relacionadas com a defesa e política externa. Trata das incertezas críticas e possíveis rupturas de forma breve e conclui sobre as consequências, riscos e oportunidades para o Brasil.

O mundo está se modificando muito rapidamente. O incremento da velocidade das mudanças exige atitude antecipatória dos agentes estatais e privados de forma a obter flexibilidade e tempestividade nas ações estratégicas de suas instituições e empresas. O viés mais nítido do incremento de velocidade repousa no uso de tecnologias disruptivas que multiplicam as oportunidades de sucesso. Dessa ferramenta decorre a inovação, condição básica para oferecer vantagens e obter lucro e respeitabilidade. Cada vez é mais difícil imaginar o futuro, o que exige esforço adicional dos analistas e planejadores.

Porque a geopolítica é relevante para o planejamento estratégico nesse mundo cambiante é o objeto a ser atingido nos parágrafos seguintes. A geopolítica trata da interseção das vertentes geográfica e política. Essa duplicidade epistemológica do vocábulo vai orientar seu estudo e o foco de seus objetos de investigação. Na geografia temos a imutabilidade definida pelo território, o fatalismo ou determinismo geográfico (Miyamoto, 1995). Apesar de seu caráter quase permanente, temos a ação antrópica e as necessidades como, por exemplo, de recursos naturais visando o desenvolvimento, que variam conforme os interesses dos Estados nacionais, provocando mudanças no território.

Na vertente política a aplicação do poder, por meio de políticas públicas sobre o território é a tônica central. Essa vertente realça o interesse estatal, pois o Estado persegue seus objetivos mesmo se chocando com outros atores. O ator em prospectiva é considerado relevante, por diferir das demais condicionantes e ou variáveis pela capacidade e intenção de moldar o presente e o futuro de acordo com suas necessidades.

No espaço geográfico internacional é que se desenha o equilíbrio

do poder ou não, a competição internacional se desenvolve, as alianças estratégicas são efetivadas, e é onde o Estado nacional opera a política externa. Neste espaço se delineiam as ameaças que sugerem as nuances da política de defesa nacional e a arquitetura das forças armadas, conforme a capacidade de poder de cada Estado de per si.

Atualmente o Estado nacional não possui a primazia de outrora, disputando espaço com outros atores que emergiram no âmbito interno das nações e no cenário internacional, como organizações não governamentais, organismos internacionais e oligopólios econômicos.

A professora Bertha Becker valoriza os argumentos descritos como podemos mostrar na citação a seguir transcrita.

A geopolítica sempre se caracterizou pela presença de pressões de todo tipo, intervenções no cenário internacional desde as mais brandas até guerras e conquistas de territórios. Inicialmente, essas ações tinham como sujeito fundamental o Estado, pois ele era entendido como a única fonte de poder, a única representação da política, e as disputas eram analisadas apenas entre os Estados. Hoje, a geopolítica atua, sobretudo, por meio do poder de influir na tomada de decisão dos Estados sobre o uso do território, uma vez que a conquista de territórios e as colônias tornaram-se muito caras (Becker, 2005, p. 71).

Tim Marshall, em uma de suas obras, *Prisioneiros da Geografia*, destaca a interação dos aspectos antropológicos e o fator territorial. O aspecto civilizacional segundo Marshall é significativamente influenciado pelas características geográficas, como podemos verificar na transcrição da citação a seguir.

Em termos gerais, a geopolítica examina as maneiras pelas quais os assuntos internacionais podem ser compreendidos através de fatores geográficos; não somente a paisagem física – as barreiras naturais ou conexões de redes fluviais, por exemplo –, mas também clima, dados demográficos, regiões culturais e acesso a recursos naturais. Fatores como esses podem ter um importante impacto sobre aspectos diferenciados de nossa civilização, de estratégia política e militar a desenvolvimento social humano, incluindo língua, comércio e religião (Marshall, 2018, p.8).

A flutuação da relevância desses dois aspectos etimológicos com

pesos diferentes, de acordo com as situações, enfatiza o caráter cambiante dessa ciência. Durante a análise da evolução do sistema internacional e o confronto de forças entre os principais atores estatais ou não são considerados um dos dois aspectos acima descritos com maior ênfase.

Neste ponto, convém sublinhar o relevo da Geopolítica como ferramenta de análise conceitual da situação internacional. Essa ciência orienta qualquer formulação estratégica estatal e políticas públicas decorrentes, entre as quais se destacam: política externa e política de defesa. Os principais usuários da análise geopolítica são os funcionários que compõem a burocracia estatal e cuidam dos negócios e dos interesses do Estado, que não podem prescindir dos conhecimentos *geopolíticos* sob pena de em grande risco colocar seus planejamentos.

Tudo que se descreve como de interesse e serventia para burocracia estatal, se aplica de forma perfeitamente ajustada também às empresas, resguardada as dimensões e características das mesmas que apontarão maior ou menor demanda do conhecimento *geopolítico*.

As disputas internacionais têm fulcro na competição por poder e prevalência no ambiente internacional. Para atingir os objetivos nacionais, os Estados formulam as grandes estratégias que englobam as políticas públicas, buscando alcançar a sinergia necessária. Esse grande plano favorece o Estado na forma como se antepor aos oponentes que tentem impedir seu desígnio consoante a realidade política internacional. Para atingir esses objetivos elencados como de interesse nacional o Estado terá que superar óbices e antagonismos e enfrentar outros atores na disputa de seus interesses (ESG, 2022).

O objeto da geopolítica é a interação poder-espaco segundo os critérios da política. A aplicação do poder no espaco internacional pelos atores relevantes, onde o Estado ainda é central, tem como principal eixo orientador a análise geopolítica. Dessa forma o espaco internacional se vê configurado pelas forças atuantes e daí decorre a significativa valoração da posição geográfica do Estado nacional.

Essa localização geográfica no espaco internacional é imutável, não podendo ser modificada, e se estiver posicionado em região de disputas, mais importância terá para o planejamento estatal em razão do maior número de atores e forças em confronto. Essa situação é incontornável para aqueles que planejam os interesses do Estado (Marshall, 2018).

Perseguir os objetivos estratégicos, ancorados no interesse nacional e na soberania, contornando os óbices que se antepõem as ações

estratégicas desenhadas é o desafio com que se defronta o príncipe e seus conselheiros, hoje personificados pelos executivos e a burocracia estatal (ESG, 2022).

A configuração de poder é cambiante e exige acompanhamento constante e contínuo da conjuntura, seja nacional ou internacional (monitoramento de cenários). Esse acompanhamento deve permitir visualizar as tendências em curso e auscultar a emergência das sementes de futuro disruptivas de forma tempestiva, se antecipando aos fatos como modo de preservar os interesses nacionais.

9.2 Grandes tendências geopolíticas

Trataremos aqui das grandes tendências, que em especial estão imbricadas com a geopolítica. Essas tendências em razão do caráter transversal dos seus escopos são eivadas por características que estão dispersas por todos os campos do poder.

Convém destacar o papel institucional do Estado que instado a responder a população por soluções para as demandas, o faz com políticas públicas efetivas. O Estado precisa se adequar às novas circunstâncias dos tempos atuais e os novos governantes terão que perceber que as demandas se multiplicaram e que não há margem para erros.

O Brasil é um grande *player* comercial e essa característica exige flexibilidade e diversificação nas negociações. Habilidade para contornar os óbices sem descuidar das parcerias é o maior desafio que se impõe à diplomacia brasileira, que tem um histórico de sucesso nessas tarefas.

9.2.1 Reordenamento do sistema internacional

Os dois fatos portadores de futuro mais relevantes das últimas décadas que afetaram significativamente o sistema internacional foram: o fim do fenômeno da Guerra Fria e a emergência da República Popular da China (RPC) como ator contestador da ordem vigente.

Esses fatos deram início a conformação da conjuntura internacional atual, de característica multipolar, marcada pela instabilidade e insegurança. No primeiro momento, teve lugar a unipolaridade estadunidense, e em seguida a confrontação entre potência revisionista chinesa e os Estados Unidos da América (EUA). De um sistema bipolar, passando por uma unipolaridade estadunidense efêmera chegamos a uma conjuntura multipolar desequilibrada, instável e insegura.

O reordenamento de poder no sistema internacional repousa so-

bre um viés acentuadamente econômico, materializado por disputa de mercados e uma corrida tecnológica. Essa condição afeta fortemente o papel do Estado, o contrato social ainda vigente, e todas as estruturas econômico-sociais e atores em confronto.

A tendência de mudança de eixo econômico-comercial para a Ásia arrastou o centro de gravidade do interesse internacional para aquele continente, ampliando as disputas e demonstrações de força no leste asiático. Esse câmbio provoca um desequilíbrio de poder no sistema internacional com riscos elevados de ocorrência de conflitos.

A previsibilidade de um desfecho final no curto prazo é incerta. As tendências em geopolítica são consolidadas no longo prazo. No entanto, a velocidade dos fatos, e a intensa conectividade promovida pela globalização tem provocado a aceleração dos processos. As questões relativas ao setor interno dos Estados nacionais e as externas no cenário internacional estão de tal forma imbricadas que a análise das ações a serem executadas torna-se extremamente dificultosa.

Desta temática decorre o maior número de incertezas críticas e possíveis rupturas, devendo ser ponto focal do trabalho dos analistas, inclusive com monitoramento acurado de sua evolução em todos os campos do poder.

9.2.2 Agravamento das divergências ambientais

Faremos breve introdução nessa temática, em razão da complexidade dos aspectos envolvidos. O sistema internacional se baseou, desde a primeira revolução industrial, em um modelo estruturado com suporte no uso intensivo das reservas de combustíveis fósseis. Inicialmente o carvão mineral, e depois o petróleo cujo consumo se estende aos dias atuais, a despeito de terem sido demonizados pelos grupos ambientalistas.

A preservação ambiental se destacou como movimento social de interesse da humanidade, após se verificarem efeitos deletérios causados pela atividade antrópica ainda no âmbito dos estados nacionais. Convém destacar aqui o caso nos Estados Unidos da América. Naquele país, a questão ambiental se fez presente após Rachel Carson observar os efeitos nocivos do dicloro-difenil-tricloroetano (o inseticida DDT) sobre os pássaros que morriam em propriedade rural de uma amiga.

A ecologista nos idos de 1962 escreveu a obra Primavera Silenciosa, que se consolidou como o livro fundador do movimento ambientalista moderno. A obra é um alerta para os perigos do uso indiscrimi-

nado de pesticidas (Carson, 1964).

Importante considerar também que a poluição em sua maior parte era produzida nos países desenvolvidos, que em alguns casos já sentiram seus efeitos, como as chuvas ácidas na Noruega, no começo dos anos 1990. O *meio ambiente* passa a assumir particular relevância em nível mundial. Os países passaram a estabelecer instrumentos normativos para mitigar os danos causados pela contaminação da água, do ar, pela extinção de espécies de animais, pelos desmatamentos, pela produção desenfreada de resíduos sólidos e pela desertificação de milhões de hectares de terra.

O declínio inexorável da exploração e uso de combustíveis fósseis, carvão e petróleo, apresenta evidências que se conjugam com a pressão ambientalista e as crises econômicas sucessivas do sistema capitalista dominante na sociedade internacional. Essa nuance revelaria o quanto as providências a serem tomadas para preservar o ambiente iriam redundar em custos, muitas das vezes indesejáveis, com efeitos econômicos consideráveis. Em resumo, quem pagaria, e como seria paga, a fatura da mudança, por exemplo, da matriz energética. Naturalmente essa disputa resultou em consequências geopolíticas refletindo na correlação de forças entre os Estados, dentro da sociedade internacional.

Esse desequilíbrio entre danos e custos consolida ainda mais uma assimetria de poder entre os Estados nacionais e favorece os países desenvolvidos que dispõem de maior número de mecanismos de pressão e coerção para alcançar seus objetivos. A seguir transcrevemos argumento que se alinha com essas ideias:

A grande maioria das emissões de gases-estufa é produzida apenas por um pequeno número de países; no que concerne à mitigação, o que é feito pela maioria dos Estados perde importância ao ser comparado com as atividades dos grandes poluidores. Apenas um número restrito de nações tem a capacidade de um pioneirismo de peso nas inovações tecnológicas concernentes à mudança climática; as normas que regem a transferência de conhecimentos e de investimentos desses países para outros serão mais importantes do que os acordos universais (Giddens, 2010, p. 268).

Como podemos depreender do exposto, as questões climáticas estão conectadas com a economia e a disputa de poder dos Estados nacionais. Em razão dos efeitos resultantes das alterações ambientais

serem diferenciados nos territórios dos países, e as origens das causas dos danos do *meio ambiente* também serem diversificadas estabelece-se uma discussão interminável e inócua. Essa diversidade de efeitos e causas, aliada aos custos da mudança de paradigma da matriz energética dificultam a obtenção de um consenso mínimo de medidas preservacionistas do *meio ambiente* a nível internacional.

A escassez dos recursos naturais aliada à forma sustentável de exploração deles viabiliza uma pressão adicional sobre os países detentores desses recursos. Um caso emblemático é o da Amazônia brasileira, sobre a qual incidem ameaças e acusações de mandatários de países centrais até artistas em geral. Essas pressões incidem em setores onde esses países possuem *handicaps* como no caso do agronegócio brasileiro, favorecendo a imposição de barreiras não alfandegárias aos produtos nacionais de diversos países.

Ainda sob o manto das mudanças climáticas e a alegação de que o *meio ambiente* é patrimônio universal, as potenciais centrais têm tentado relativizar a soberania de outros países, e impor soluções vantajosas que atendam seus objetivos estratégicos.

A possibilidade de ingerência externa motivada ou catalisada por questões ambientais é um risco cada vez mais presente no cenário internacional. Quando a soberania se entrelaça com o *meio ambiente* seu significado é questionado de forma contundente. Alegações de que o *meio ambiente* é o direito humano de maior relevância empresta sustentação a vozes de diferentes matizes que tentam desconstruir aquele conceito.

Sua defesa pelos países em desenvolvimento de modernidade tardia do Sul Global face aos países desenvolvidos tornou-se uma constante nos debates diplomáticos e políticos.

Esse tema não é recente como mostrado na citação a seguir:

Na carta das Nações Unidas, figura como primeiro Princípio ao dizer que a Organização é baseada no princípio da igualdade soberana de todos os seus membros. Com a independência de inúmeros estados africanos e asiáticos na década de 60, os novos países, orgulhosos com a independência recém-adquirida, passaram a se apegar à noção de soberania (Casella; Vasconcelos; Xavier Junior, 2017, p. 39).

Realça-se aqui, o sentido da soberania estatal na discussão ambiental. A centralidade e relevância da soberania para emprestar um

mínimo de ordem à sociedade internacional, que se caracteriza por um ambiente anárquico onde os Estados nacionais são dotados de poder desigual é inconteste.

A inexistência de uma autoridade supranacional que discipline os interesses dos Estados exige princípios igualitários, que permitam um mínimo de autonomia às unidades estatais, para que cumpram seus contratos sociais, protegendo os indivíduos e fazendo prevalecer a ordem sobre a anarquia, tanto interna quanto externamente.

A seguir, transcrevemos trecho de uma obra, no qual os argumentos se apresentam alinhados com as ideias acima expostas:

Os Estados-órfãos são colocados lado a lado em condição de igualdade jurídica, e com isso, deixa de existir uma alternativa de que uma autoridade, legal ou moral, os ordene. “A igualdade repele a ordem nascida das imposições hierárquicas”. Ou, ainda quando existam, ao lado da igualdade jurídica, formas de desigualdades, como as derivadas diferenciais de poder, não é fácil utilizá-las para instaurar a ordem. Por causa da soberania, a hegemonia não se converte em modelo hierárquico, institucionalizado, de imposição. Haverá formas de dominação, mas as passagens entre o jurídico e o político, entre a lei e o poder, são ambíguas no sistema internacional. Como ordenar soberanos? Num mundo sem pretores, a primeira reação é inevitável: cada um que lute por sua preservação. Não haveria outra garantia para que o Estado continuasse, a não ser as que nascem de instrumentos construídos individualmente, egoisticamente (Fonseca Jr., 1998, p. 41).

É nesse diapasão que se destaca a importância do equilíbrio entre os princípios em colisão, ou seja, de um lado, os princípios da soberania e do desenvolvimento nacional, e do outro, o direito universal ao *meio ambiente*.

Com efeito, nessa situação, há que se buscar a concordância prática, aqui vislumbrada como a otimização entre os direitos e valores em jogo, cujo desfecho viabiliza concessões mútuas de modo a resguardar tanto a soberania e o desenvolvimento nacional quanto à proteção do *meio ambiente*.

No entanto, os países desenvolvidos tendem a desconsiderar a soberania e o desenvolvimento dos países de modernidade tardia, o que evidentemente não contribui para a busca desse equilíbrio entre os valores axiológicos em colisão. Isso caracteriza um processo de ponderação

equivocado que atribui prevalência absoluta para a proteção ao *meio ambiente*, em detrimento do desenvolvimento dos países do Sul Global.

A Amazônia brasileira é o principal bioma não explorado e rico em biodiversidade e recursos hídricos. Ameaças significativas incidem de fato sobre a Amazônia? Como especialistas em prospectiva percebem o futuro da região? Tendências de peso apontam para a continuidade do desafio *geopolítico* da Amazônia, exigindo do Brasil medidas e atitudes para neutralizar, ou ainda mitigar, possíveis ameaças. Evidências de óbices de monta são descritos nos cenários traçados para o Brasil até 2035, como se vê abaixo na transcrição:

A Amazônia deve continuar sendo um foco de tensão, envolvendo tanto atores estatais (como os países pelos quais se estende o território amazônico) quanto não estatais – como organizações não governamentais (ONGs), comunidades indígenas, empresas e membros da comunidade científica. Desafios como o desmatamento e a redução da biodiversidade, atividades de biopirataria e dificuldade de fiscalização e controle dessa região continuarão sendo significativos, motivando iniciativas e parcerias internacionais, como o Tratado de Cooperação Amazônica (TCA) e sua subsequente operacionalização por meio da Organização do Tratado de Cooperação Amazônica (OTCA) (IPEA, 2017, p. 191).

Podemos concluir parcialmente do acima exposto que a preservação do *meio ambiente* não alcançou um mínimo de consenso sobre quais medidas preservacionistas são prioritárias. Também é lícito afirmar que essa temática pode vir a ser utilizada geopoliticamente como ferramenta de ingerência política pelos países centrais sobre outros países, para controlar a exploração de recursos naturais, obtendo vantagens comerciais e relativizando a soberania de países detentores de grandes mananciais desses recursos. Dessa forma, a ordem internacional seria fragilizada, motivando conflitos e ampliando a instabilidade já existente na configuração multipolar hodierna.

9.2.3 Ampliação do *gap* tecnológico

Um aspecto a ser considerado no *gap* tecnológico é o processo de desindustrialização, que decorre da centralização de produção em certos países com custos menores. A necessidade de uma política industrial abrangente e integradora que inclua a base industrial de defesa

deveria ser implementada dentro do escopo de uma grande estratégia nacional.

Seria desejável que os países fossem dotados de uma reserva orçamentária de longo prazo para viabilizar projetos estratégicos da indústria como um todo de modo a permitir a conclusão dos ciclos de longo prazo inerentes a projetos estratégicos. A política industrial e a política de inovação tecnológica devem estar conectadas com a educação e tornarem-se eficiente instrumento de geração de empregos.

O fortalecimento da Base Industrial de Defesa (BID) não pode ser um fim em si mesmo, o seu projeto deve estar incluso na política industrial aproveitando que esse segmento trabalha na fronteira do conhecimento e pode gerar inovação tecnológica. Assim, estaríamos atendendo de forma conjunta os imperativos de defesa e desenvolvimento.

A inovação tecnológica e seu caráter disruptivo exigem ousadia e decisão para fazer escolhas que resultam em frutos no futuro. O caráter disruptivo é frequentemente associado à inovação tecnológica, com o uso de uma máquina ou ferramenta tecnológica, no entanto a gestão frequentemente promove a disrupção vantajosa em vários setores e não pode ser desconsiderada. O incentivo a uma educação empreendedora e inovadora torna-se essencial.

9.2.4 Recrudescimento da crise energética

A dita energia limpa e a mudança da matriz energética estão sendo perseguidas em consonância com a preservação ambiental. A matriz energética atual remonta muitas das vezes aos primórdios da revolução industrial, e apesar de anacrônicas não foram substituídas pelos custos elevados exigidos para tal. Esses custos nem sempre são oportunos e desejáveis para as empresas e uma empresa não pode mudar sozinha, tem uma cadeia logística envolvida nisso.

Para frisar a relevância da energia transcrevemos a seguir um trecho da obra de Moniz Bandeira. Na ocasião, ele destaca que o governo Bush apesar da existência de várias questões críticas que exigiam soluções quase imediatas escolheu a energia como prioridade.

Contudo, a primeira prioridade do presidente George W. Bush, quando inaugurou o governo no início de 2001, não foi combater o terrorismo ou a proliferação de armas de destruição em massa, porém aumentar o fluxo de petróleo do exterior, devido à redução dos estoques de petróleo e de gás natural, nos Estados Unidos,

evidenciada pelos blackouts ocorridos na Califórnia, enquanto as importações de petróleo estavam a ultrapassar 50% do consumo interno (Bandeira, 2010, p.16).

Os novos combustíveis são resultado de longas pesquisas e investimentos elevados. As disputas por mercados e primazia tecnológica no setor dificultam a negociação de soluções comuns que atendam a todos. A defasagem tecnológica entre os Estados exige soluções diferenciadas.

Muitos países não respeitam os acordos já firmados como no caso dos EUA e China e, no entanto, apresentam exigências enormes aos outros países, dificultando o avanço da agenda de energia limpa e preservação ambiental. Grandes oligopólios que controlam a produção e distribuição de energia, e que não estão necessariamente alinhados com as diretrizes estatais para o tema, oferecem resistência às mudanças, evitando possíveis prejuízos ou custos de produção adicionais.

Como podemos verificar do acima exposto se a questão climática dependesse exclusivamente da questão energética já teríamos problemas suficientes para termos prognósticos pessimistas para soluções em curto prazo para um tema tão abrangente e complexo.

9.2.5 Escassez dos recursos naturais

Os recursos naturais estão distribuídos de forma desigual na superfície terrestre. O potencial brasileiro de mananciais de recursos naturais é significativo, despertando o interesse e a cobiça de Estados nacionais e diversos oligopólios. A exploração desses recursos é motivo de disputas, podendo ser securitizado e motivar um conflito bélico.

As maiores fontes de recursos naturais estão situadas em território dos países do terceiro mundo. A América do Sul possui extensos mananciais desses recursos, ainda não explorados de forma sistemática, estimulando a cobiça sobre esses recursos pelos interessados na sua exploração.

A temática de recursos ambientais está na pauta dos experts há algum tempo. Essa questão está conectada com a preservação ambiental e com o crescimento populacional entre outras como podemos observar na transcrição a seguir extraída de estudo de futuro de vulto publicado pelo IPEA:

A temática dos recursos naturais e energéticos deve alcançar um lugar de destaque na agenda internacional

nos próximos vinte anos, com uma maior ênfase para a segurança alimentar, hídrica e energética, basilares para o bom desempenho das atividades humanas. O esgotamento de recursos não renováveis, como combustíveis fósseis e minérios, pode ser um ponto de tensão particularmente problemático (UNEP, 2011). Além disso, o crescimento populacional e o aumento do consumo per capita impõem fontes de pressão sobre a extração e o uso de recursos naturais” (Krausmann et al., 2009). (IPEA, 2017, p. 190).

Existe uma perspectiva do aumento da demanda por recursos naturais, em especial por recursos hídricos em todo o mundo, em razão do incremento do crescimento demográfico e da maior utilização desses recursos motivada pela expansão das indústrias de base em países em desenvolvimento.

9.2.6 Agravamento das questões sociais

Aspectos demográficos são extremamente relevantes para perspectiva e planejamento estratégico. Essa importância acentuada decorre de seu significado especial para implementação de políticas públicas. As questões sociais estão imbricadas com a demografia e devem ser motivo de atenção especial do Estado. No caso das empresas o foco é atender as necessidades e interesses do público-alvo com maior eficiência.

O envelhecimento da população, a ampliação da densidade urbana e o conseqüente incremento por ampliação da oferta de serviços sociais básicos sobrecarregam os custos das unidades estatais. Essa pressão é agravada pelo empoderamento social dos habitantes que exigem melhorias nos serviços sociais, e que se organizam de forma a buscar apoio dos representantes políticos e de organizações não governamentais para serem atendidos.

Os aspectos demográfico e antropológico-cultural são essenciais para o entendimento do mundo. Huntington escreveu um clássico das relações internacionais vaticinando que os conflitos decorrem dos choques civilizacionais, de onde extraímos a citação a seguir transcrita:

As mudanças na balança demográfica foram um desses fatores. A expansão quantitativa de um grupo gera pressões políticas, econômicas e sociais sobre outros grupos e induz reações para contrabalançar-las. Mais

importante ainda, ela produz pressões militares sobre os grupos menos dinâmicos demograficamente. O colapso, no começo da década de 70, da ordem constitucional que existia havia 30 anos no Líbano foi, em grande parte, fruto do aumento espetacular da população xiita em relação aos cristãos maronitas (Huntington, 1998, p. 330).

A condicionante acima descrita aponta para necessárias revisões das políticas previdenciárias com impacto significativo sobre a população economicamente ativa e na força de trabalho como um todo. A atração de imigrantes pode ser uma ferramenta para mitigar os riscos da aceleração do envelhecimento da população, em especial nos países do primeiro mundo que oferecem um elevado padrão de qualidade de vida.

É possível também o uso das migrações como instrumento de guerra híbrida. A Turquia, por exemplo, tem o poder de controlar os imigrantes árabes em direção à Europa e tem negociado esse fluxo de migrantes com a União Europeia. A América Central se tornou fonte de fortes correntes migratórias em direção aos EUA, impactando a qualidade de vida das cidades fronteiriças e seus orçamentos, arranhando a imagem do *soft power* norte-americano.

O incremento da visibilidade das questões sociais possibilitou a ampliação do protagonismo de atores não estatais, que tentam substituir o papel do Estado nacional e também intermediar ligação com a população, tentando substituir o papel dos representantes legislativos, ampliando a complexidade dos temas sociais e desqualificando os atores tradicionais.

9.3 Incertezas críticas e possíveis rupturas

O reordenamento do Sistema Internacional é a maior incerteza crítica atual. Sua transversalidade em relação aos demais setores acaba por ter um efeito multiplicador considerável. A configuração multipolar instável atual do sistema internacional dificulta a adoção de medidas de consenso e normatizadoras para outros temas, agravando a instabilidade e a desconfiança dos atores que integram o sistema internacional. O referido processo está inconcluso e envolve diversas temáticas, com repercussões de difícil previsão, exigindo um olhar acurado no seu acompanhamento.

Existe a perspectiva de se ampliarem os conflitos indiretos entre as grandes potências com a ocorrência de guerras entre outros Estados

Nacionais como no caso da Ucrânia. O exemplo mais recente é o da Rússia que invadiu aquele país sob o pretexto de que a Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN) avançava sobre o entorno estratégico russo, reduzindo a profundidade de defesa russa. Com a evolução da situação, o que se percebe é um apoio intenso da OTAN à Ucrânia, mesmo esse país não fazendo parte daquela organização. As disputas por mercado de petróleo e gás incrementaram a participação mais ativa de outros países. Todos esses fatores contribuem para um prognóstico indefinido para o final do conflito, e dos prováveis vencedores.

A crise econômica não resolvida na última década tem sido cunhada como uma crise do sistema capitalista que se esgotou como mecanismo regulador e normatizador da economia internacional. Outros autores atribuem a ela a condição menos perigosa de se constituir em mais uma das tantas crises que são inerentes ao capitalismo, sem maiores riscos de monta. Existem outras hipóteses para a referida crise, mas nenhuma delas com probabilidade alta de ocorrer uma solução em curto prazo. Em razão da elevada conectividade que envolve o sistema internacional, os impactos se propagarão por todo sistema e por sua imprevisibilidade merece o acompanhamento cerrado de analistas do mundo inteiro. O Banco Mundial e o Fundo Monetário Internacional apontam para uma grave recessão em razão dos pífios resultados das economias da União Europeia, RPC e EUA.

Se referindo as consequências da crise financeira de 2017-2018, Bandeira destaca a desestabilização que se alastrou pelo mundo inteiro como podemos verificar na transcrição feita a seguir:

O colapso financeiro de 2007–2008 desestabilizou toda a ordem capitalista internacional, ao atingir os débitos soberanos de países da União Europeia, e concorreu para abalar ainda mais a confiança nos Estados Unidos, cuja influência, como único pólo de poder mundial, estava a declinar, desde a guerra contra o Iraque, devido à violação do direito internacional, às mentiras sobre a existência de armas de destruição em massa, para justificar a intervenção armada contra o regime de Saddam Hussein, e aos abusos e violações dos direitos humanos, lá praticados, pelos soldados americanos (Bandeira, 2016, p. 79).

A solução para o confronto entre a República Popular da China e os Estados Unidos da América não pode ser visualizada no curto prazo. Os EUA apresentam um relativo declínio de sua capacidade de moldar

o futuro em comparação ao passado recente (ARRIGHI, 2008). No entanto, sua capacidade tecnológica e o *gap* favorável nesse campo, em relação aos demais concorrentes favorece sua permanência como líder, não hegemônico e incontestado, no cenário internacional.

A RPC vem apresentando um crescimento econômico invejável nas últimas décadas, mas apresenta vulnerabilidades internas que podem desestabilizar o Estado nacional chinês. Minorias étnicas, controle da população motivada pela pandemia do COVID-19, vulnerabilidades ambientais e emergência de oponentes em seu entorno estratégico como o Japão são alguns exemplos dos óbices e antagonismos enfrentados pela nação hoje dita revisionista. A RPC durante um longo período se dedicou a consolidar sua condição como uma potência regional. Seu protagonismo era considerado discreto. Seus investimentos externos, como a nova Rota da Seda, e o investimento de seus superávits econômicos em defesa, com a transformação de sua marinha de guerra para uma marinha de águas azuis, apontam para um maior protagonismo no cenário internacional, se chocando com os interesses de outros Estados nacionais.

A questão de Taiwan é emblemática por envolver uma ex-província rebelde em relação à RPC e pelo status econômico atingido por aquela ilha com investimentos ocidentais. Alguns analistas acreditam na conformação de um novo sistema bipolar com características diversas da que ocorreu no passado recente.

O desfecho final da guerra da Ucrânia tem potencial para provocar a maior ruptura no sistema internacional atualmente. O referido conflito tem provocado consequências em todos os campos do poder, em diversas regiões espalhadas por todo o globo. Apenas para exemplificar usaremos alguns produtos cuja produção foi afetada repercutindo mundo afora. A Europa é importadora relevante petróleo e gás russos, e tem sofrido com o embargo imposto à Rússia. A produção agrícola de grãos da Ucrânia é exportada principalmente para o continente africano, com o conflito ocorreu um desabastecimento significativo daquela região. A Rússia é um dos maiores produtores de fertilizantes, e a paralisação das exportações afetou a produção de alimentos em diversos países. As migrações forçadas de ucranianos em direção a Europa desde o início da guerra sobrecarregaram a infraestrutura de assistência social de vários países europeus. Qualquer dos oponentes que sair derrotado vai amargar prejuízos incalculáveis e a reordenação de poder decorrente terá impactos significativos em escala global.

9.4 Aspectos relevantes para as políticas de Defesa e externa brasileiras

As duas políticas públicas estatais que mais se imbricam com a Geopolítica são a política de defesa e a política externa. Essas duas políticas tratam prioritariamente do interesse nacional e da soberania. Dessa forma existe a necessidade do incremento da integração do Ministério das Relações Exteriores (MRE) e o Ministério da Defesa (MD), de modo a buscar a sinergia das ações e coerência nas atividades externas, fortalecendo a iniciativa estatal.

O MRE privilegia quase que de modo exclusivo o foco econômico da inserção internacional, em detrimento de outros aspectos também relevantes, incluído aí o da Defesa. Esse aspecto merece uma revisão e acompanhamento mais acurado de modo a atender outras vertentes também importantes, promovendo o equilíbrio das prioridades.

Desenvolvimento e segurança estão cada vez mais integrados em razão da conectividade do mundo moderno, exigindo um olhar multidisciplinar do planejador de forma a obter vantagens significativas. A promoção da inserção brasileira no cenário internacional irá conflitar com objetivos estratégicos de outros Estados nacionais, exigindo que o Estado brasileiro tenha capacidade dissuasória para defender seus interesses, e sua soberania no sistema internacional.

Por ser o Brasil um grande *player* comercial, será exigido cada vez mais a realização de parcerias e alianças estratégicas com parceiros confiáveis e diversificados, de modo a promover a inserção internacional do Brasil, e se atingir os objetivos estratégicos que conduzam o país ao desenvolvimento com segurança.

O aumento da guerra informacional com a manipulação da opinião pública e ataques cibernéticos contra os sistemas de informação têm ocorrido numa fase preparatória e inicial dos conflitos. Essas condições definem a característica da guerra híbrida que tem derrubado governos, e espalhado a instabilidade política em especial em países em desenvolvimento, muitas das vezes por meio de ações veladas de potências centrais.

A presença de potências estrangeiras na América do Sul amplia o risco de conflitos por procuração e desequilíbrios de poder regionais. Pelo menos três potências centrais têm instalações, e algum tipo de tropa baseada nesse continente, potencializando ameaças à soberania dos países do continente.

Com o fenômeno da multipolaridade ampliaram-se as disputas

com maior possibilidade do uso do instrumento militar para solução de controvérsias. Os gastos de defesa aumentaram e a insegurança ronda vários continentes. A dissuasão está cada vez mais difícil de ser obtida, ensejando riscos elevados. O exemplo disso é o Leste asiático onde o Japão aprovou um orçamento de defesa milionário para fazer face às possíveis ameaças que se configuram na Ásia.

9.5 Considerações finais

O sistema internacional se encontra em transformação. A multipolaridade inconclusa que o caracteriza está eivada de insegurança e riscos. Existe uma tendência para que o sistema se encaminhe para uma nova bipolaridade protagonizada por Estados Unidos da América e República Popular da China. No entanto, essa configuração teria diferenças relevantes em relação ao processo de defrontação anterior denominado Guerra Fria. Essas diferenças seriam resultado do protagonismo de novos atores como Índia, Japão e Irã por exemplo. A instabilidade é a palavra-chave no diagnóstico do sistema internacional.

Destaca-se a relevância da Geopolítica como ferramenta auxiliar no processo decisório estatal em especial para política externa e de defesa. A fixação de um possível novo eixo de inserção internacional e a definição dos objetivos estratégicos nacionais de modo integrador poderia mitigar riscos e emprestar flexibilidade ao planejamento estratégico dos Estados.

Visualiza-se a necessidade de os países adotarem uma Grande Estratégia, consubstanciando qual o papel que desejam desempenhar no sistema internacional. Assim poderão traçar políticas flexíveis coerentes com as diretrizes do referido documento, emprestando sinergia ao planejamento. Essas diretrizes devem adotar uma visão realista do sistema internacional, no qual os países não têm amigos, mas parceiros de ocasião para explorar oportunidades e construir futuros possíveis. O pragmatismo será essencial para prospectar o mundo.

Cada vez mais os Estados e empresas precisarão ampliar a robustez de suas políticas públicas e planejamentos, emprestando solidez às decisões governamentais e privadas. Essas ações deverão ser suportadas por um planejamento estratégico de longo prazo, apoiado em cenários que devem ser monitorados, permitindo aos Estados e empresas atravessarem os mares turbulentos que se descortinam no futuro.

Referências

- ARRIGHI, Giovanni. Adam Smith em Pequim. São Paulo: Boitempo, 2008.
- BANDEIRA, Luiz Alberto Moniz. Geopolítica e Política Exterior: Estados Unidos, Brasil e América do Sul. Brasília, DF: FUNAG, 2010.
- BANDEIRA, Luiz Alberto Moniz. A desordem mundial: o espectro da total dominação: guerras por procuração, terror, caos e catástrofes humanitárias. 1.ed. - RJ : EDITORA JOSÉ OLYMPIO LTDA, 2016.
- BECKER, Bertha K. Dossiê Amazônia Brasileira I. Geopolítica na Amazônia. Estudos avançados. v. 19 (53). Abr, 2005.
- CARSON, Rachel. Primavera Silenciosa. Melhoramentos, São Paulo: 1964.
- CASELLA, Paulo Borba; VASCONCELOS, Raphael Carvalho de; XAVIER JUNIOR, Ely Caetano. Direito ambiental: o legado de Geraldo Eulalio do Nascimento e Silva. In: Direito ambiental: o legado de Geraldo Eulalio do Nascimento e Silva. 2017. p. 492-492.
- COSTA, W. M. da. Geografia Política e Geopolítica: discursos sobre o território e o poder. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.
- MIYAMOTO, S. Geopolítica e poder. In: MIYAMOTO, S. Geopolítica e poder no Brasil. Campinas, SP: Papirus, 1995. (Coleção Estado e Política)
- ESG. Metodologia do Planejamento Estratégico. Escola Superior de Guerra. Rio de Janeiro: ESG, 2022.
- FONSECA JR., Gelson. A legitimidade e outras questões internacionais. São Paulo: Paz e Terra, 1998.
- GIDDENS, A. A política da mudança climática. Rio de Janeiro: Zahar, 2010. 316p.
- HUNTINGTON, P. Samuel. O choque das civilizações e a recomposição da ordem mundial. Rio de Janeiro: BIBLIEX, 1998.
- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - Associação Nacional dos Servidores da Carreira de Planejamento e Orçamento. Brasil 2035: cenários para o desenvolvimento. Brasília: IPEA: Assecor, 2017.
- MARSHALL, Tim. Prisioneiros da Geografia: dez mapas que explicam o que você precisa saber sobre a política global. Rio de Janeiro: Zahar, 2018.

Geopolítica¹

Por Giovanni Hideki Chinaglia Okado² e Marcos Aurélio Santiago França³

1 Os autores agradecem a todos os discentes da Pontifícia Universidade Católica de Goiás que participaram da dimensão geopolítica do projeto Megatendências Mundiais 2040, principalmente das atividades de coleta, seleção e identificação das sementes de futuro.

2 Professor Assistente de Relações Internacionais da Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) e doutorando em Relações Internacionais pela Universidade de Brasília. É pesquisador do Grupo de Estudos e Pesquisas em Segurança Internacional do Instituto de Relações Internacionais da Universidade de Brasília (GEPSI-Irel/UnB) e do Grupo de Estudos e Pesquisa em Relações Internacionais da PUC Goiás.

3 Cientista político, atua como analista de inteligência estratégica em temas relacionados à agricultura, política internacional e ciência na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). É pesquisador colaborador no Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos da Universidade Católica de Brasília (UCB). Mestre, pela Universidade de Brasília (UnB), em Relações Internacionais, e mestre, pela Escola de Guerra Naval (EGN), em Estudos Marítimos.

9b.1 Introdução

A geopolítica está atravessando um período de profundas transformações, e o mundo será completamente diferente em 2040. Esta é a principal narrativa apresentada nos estudos prospectivos que se dedicam à análise de temas *geopolíticos* (US, 2021; Gaub, 2019; UK, 2018; España, 2018). Se, por um lado, velhos problemas regressam ao centro das preocupações globais, por outro, novos problemas surgem e causam perplexidade. Os próximos anos serão marcados, na expressão de Alvin Toffler (1984), pelo choque do futuro: enfrentar o estresse e a desorientação provenientes do excesso de mudanças no curto prazo será um desafio, mas resistir e se adaptar a essas mudanças será um imperativo estratégico.

Entre as velhas novidades, estão as perspectivas de conflito entre grandes potências,¹ a transição de poder (ou hegemônica), a crise da governança global e a escassez de recursos. O conflito no leste europeu, após a invasão da Ucrânia pela Rússia em fevereiro de 2022, reavivou as tensões e rivalidades entre países ocidentais e não ocidentais, assim como o temor de uma guerra nuclear. A contenção da China e da Rússia tornou-se mais enfática do que o combate ao terrorismo nas últimas versões da Estratégia de Segurança Nacional dos Estados Unidos² (US, 2017; 2022). O multilateralismo, indispensável à resolução de problemas comuns à humanidade, passa por um momento delicado em um ambiente internacional mais competitivo. A escassez dos recursos naturais, em particular os energéticos e minerais, e alimentares ganha cada vez mais destaque em meio às dificuldades de descarbonização da economia e de retomada da normalidade após a pandemia da COVID-19.

Já entre as novas novidades, a maioria delas está relacionada

1 Não há um conflito entre grandes potências desde o final da Segunda Guerra Mundial. Desde então, esse período passou a ser caracterizado como a “longa paz” (Mearsheimer, 1990).

2 A preocupação estadunidense, por exemplo, com a China está evidente no documento promulgada no governo de Joe Biden: “[t]he PRC is the only competitor with both the intent to reshape the international order and, increasingly, the economic, diplomatic, military, and technological power to do it. [...] Competition with the PRC is most pronounced in the Indo-Pacific, but it is also increasingly global.” (US, 2022, p. 23-24).

com as tecnologias disruptivas,³ incluindo as militares, e seu potencial para alterar o curso da geopolítica global. Trata-se de tecnologias revolucionárias, que surgem de maneira repentina e/ou inesperada, e são capazes de alterar os parâmetros estabelecidos no mercado (Lele, 2019). No âmbito militar, elas modificam as regras e a condução dos conflitos em uma ou duas gerações, a exemplo da introdução dos tanques na Primeira Guerra Mundial (Lele, 2019) e das aplicações da inteligência artificial (IA) em funções de combate (UK, 2018). Estima-se que, em 2050, o potencial da IA para a realização de cálculos hiper lógicos poderá alterar a natureza da guerra (UK, 2018). Edward Geist e Andrew J. Lohn (2018) já alertaram, por exemplo, para os riscos de uma guerra nuclear se as decisões dos sistemas de defesa de potências nucleares forem baseadas em algoritmos. Na opinião dos autores, o elemento humano teria impedido uma catástrofe atômica na Guerra Fria (Geist; Lohn, 2018).

Este capítulo está estruturado em cinco seções, além desta introdução. A primeira seção contém uma breve apresentação sobre a evolução do pensamento *geopolítico* no pós-Guerra Fria e propõe algumas reflexões teórico-conceituais. Em seguida, as quatro seções correspondem às sementes de futuro da dimensão geopolítica para 2040. Essas sementes foram coletadas, analisadas e classificadas com base em estudos prospectivos⁴ que contemplam o horizonte temporal em tela. Inicialmente, o processo de coleta, análise e classificação se baseou em uma divisão temática relacionada com as respostas nos questionários aplicados pelo Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos da Universidade Católica de Brasília (NEP-UCB) de 2019 e de 2021. Essas respostas foram, posteriormente, comparadas com as sementes levantadas

3 O Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos da Universidade Católica de Brasília (NEP-UCB) sintetizou o levantamento da pesquisa realizada em 2019 e em 2021 sobre as megatendências mundiais 2040 em torno de 12 grandes forças, sendo que quase a metade delas diz respeito a tecnologias disruptivas, como novos materiais estratégicos, hiperconectividade, transformação digital, virtualização e difusão da internet das coisas, automação inteligente e biorrevolução.

4 A maior parte dos estudos prospectivos é de origem ocidental, notadamente estadunidense e europeia, de modo que convém ressaltar que muitas sementes de futuro identificadas contêm interesses, valores e visões de mundo de institutos e autores que elaboraram esses estudos. A lista do material analisado está disponibilizada nas referências. Além deles, também foram consultados relatórios anuais de riscos, como o Global Risks, do Fórum Econômico Global, e o Top Risks, do Eurasia Group, com o propósito de verificar a frequência e consistência das sementes levantadas nos estudos prospectivos.

no livro “Megatendências mundiais 2030: o que entidades e personalidades internacionais pensam sobre o futuro do mundo?” (Marcial et al., 2015). Depois, a divisão se reduziu para dez temas e se chegou a 343 sementes de futuro.⁵ Finalmente, em um último esforço de compilação dos resultados anteriores, optou-se por reagrupar as sementes de futuro em torno de três temas mais abrangentes – governança global, rebalço de poder na ordem internacional e conflitos armados – e um mais específico e de particular interesse do Brasil – entorno estratégico Brasileiro. No total, chegaram-se 60 sementes de futuro, sendo 35 tendências e 25 incertezas críticas (estas estão contempladas apenas na lista 1, como se verá ao final).

9b.2 Do fim ao retorno da geopolítica

Desde os anos 1990 até o presente, diversos debates em torno do pensamento *geopolítico* oscilaram entre dois momentos extremos. Por um lado, a percepção de que a geopolítica teria chegado ao fim após a derrocada da Guerra Fria e a conseqüente reconfiguração da ordem internacional (Foucher, 1997; Ó Thuathail, 1997). Por outro, a ideia de que a geopolítica teria renascido, ou retornado, na década passada diante da eclosão de crises e tensões globais, que estremeceram as relações entre grandes potências, potências regionais e outros países, como a crise financeira de 2008, os programas nucleares iraniano e norte-coreano, (Guzzini, 2012; Mead, 2014).

Entre os finalistas, está Michel Foucher (1997). Ele argumentou que estava surgindo um mundo multiestatal na década de 1990, a começar pela experiência da integração europeia, em contraposição à geopolítica binária e à luta entre os povos. Nesse mundo, o poder significaria influência e reconhecimento, não dominação ou força, e a cooperação

5 Os dez temas, assim como o número de sementes e a frequência delas, são: 1) governança global: 100 (29,15%); 2) emergência de ordem internacional multipolar: 74 (21,57%); 3) globalização e nacionalismos: 97 (28,27%); 4) entorno estratégico Brasileiro: 14 (4,08%); 5) os rumos do espaço *geopolítico* europeu: 2 (0,58%); 6) Ásia e o deslocamento *geopolítico* para a região Indo-Pacífica: 15 (4,37%); 7) controle da disseminação de armas de destruição em massa: 7 (2,04%); 8) exploração do espaço: 6 (1,74%); 9) desafio aos valores e padrões ocidentais contemporâneos: 5 (1,45%); e 10) outros: 23 (6,75%). Ressalta-se que essas sementes são transversais e interrelacionadas, de modo que baixas ocorrências, como a exploração espacial, podem ser explicadas porque determinados temas mais específicos (por exemplo, sistemas de armas baseados no espaço) apareceram em outros temas mais amplos (por exemplo, governança global ou multipolaridade).

tenderia a prevalecer sobre o conflito (Foucher, 1997). Já para Gearoid Ó Thuathail (1997), o argumento finalista de Foucher (1997) é simplista e limitado. A geopolítica, na verdade, é um conceito plural, não singular (Ó Thuathail, 1997). Não se trata, segundo Ó Thuathail (1997), do fim, e sim da retomada das múltiplas possibilidades que o pensamento *geopolítico* oferece para compreender as estruturas, processos e atores para além do estado e de seus referentes (como soberania, território, poder etc.). O autor defende o resgate de um enfoque mais humanista e crítico, que não esteja aprisionado pela competição estatal e o equilíbrio de poder (Ó Thuathail, 1997).

Pouco mais de uma década após as análises de Foucher (1997) e Ó Thuathail (1997), a questão passou a ser o retorno da geopolítica. Stefano Guzzini (2012) procurou refletir sobre essa questão, especificamente, avaliando esse retorno na Europa. Para o autor, haveria duas possíveis respostas: a primeira delas é o renascimento da geopolítica que Foucher (1997) enterrou; a segunda, é a continuidade da geopolítica que Ó Thuathail (1997) resgatou. Alguns anos mais tarde, a primeira possibilidade identificada por Guzzini (2012) foi retomada por Walter Mead (2014). Este afirmou que as rivalidades geopolíticas se tornaram novamente centrais, em particular as tentativas de projeção de poder da Rússia sobre a Crimeia, da China sobre as águas costeiras e do Irã sobre o Oriente Médio (Mead, 2014). Mead (2014) considerou essas tentativas como uma vingança por parte de potências revisionistas – leia-se, Rússia, China e Irã – e avaliou que o retorno da geopolítica: “não será pacífico, e se os revisionistas serão ou não exitosos, seus esforços já abalaram o equilíbrio de poder e mudaram a dinâmica da política internacional” (Mead, 2014, *online*, tradução nossa⁶).

Se a geopolítica retornou ou nunca deixou de existir, é uma discussão que ainda está aberta, mas é preciso reconhecer: a geopolítica, como afirmaria Klaus Dodds (2007), é um termo escorregadio e, ao mesmo tempo, atraente. Não há uma definição hermética e incontestável para esse termo, embora ele possa se referir a dois entendimentos gerais. O primeiro deles apresenta descrições geográficas, metáforas e modelos confiáveis sobre a paisagem global – por exemplo, “cortina de

6 No original: “[That process] will not be peaceful, and whether or not the revisionists succeed, their efforts have already shaken the balance of power and changed the dynamics of international politics.”

ferro” ou “eixo do mal”⁷ – que contribuem para a formulação de políticas externa e de segurança (Dodds, 2007). O segundo trata de como as práticas acadêmica e popular constroem significados particulares de lugares, comunidades e identidades no tempo e no espaço (Dodds, 2007). Os dois entendimentos, naturalmente, não são definitivos nem atemporais.

A interpretação de Mead (2014) se popularizou na década passada. A conjuntura internacional, mais *propensa* ao conflito do que a cooperação, deu novo fôlego, recordando Foucher (1997), à geopolítica binária e à luta entre os povos. Ian Bremmer (2012) cunhou um termo metafórico para ilustrar essa conjuntura: o G-Zero. Após a 15^a Conferência das Partes (COP-15) da Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas, realizada em *Copenhague*, em 2009, Bremmer (2012) observou que havia duas razões para o fracasso dessa reunião: a ausência de uma base comum entre lideranças estabelecidas – notadamente países ocidentais – e países emergentes – China, Índia, Brasil, entre outros – para alcançar um acordo que exigiria sacrifício de todas as partes; e nenhum país, atuando individualmente ou em bloco, seria capaz de impor uma solução. Em síntese, o mundo G-Zero passaria a representar a ausência de uma liderança hegemônica ou de uma aliança durável de países capaz de enfrentar, de forma coordenada, os desafios globais (Bremmer, 2012).

Se, por um lado, o G-Zero tornou-se uma metáfora da paisagem global, por outro, a geopolítica também recebeu adjetivações correlatas. Os relatórios mais recentes do Fórum Econômico Mundial (WEF, na sigla em inglês) ou do Eurasia Group sobre os riscos globais atribuem algumas dessas adjetivações. Em 2018, por exemplo, o WEF (2018, p. 7, tradução nossa) considerou que “[o] mundo entrou em uma nova e inquietante fase geopolítica”.⁸ Em 2019, o Eurasia Group começou afirmando que “[o] ambiente *geopolítico* é o mais perigoso em décadas [...]” (Bremmer; Kupchan, 2019, p. 2, tradução nossa⁹). As ideias de inquietação e de perigo, assim como de instabilidade, volatilidade, rivalidade etc., foram constantemente exploradas em torno de uma nar-

7 Termo cunhado pelo ex-presidente dos Estados Unidos George Bush, em 2002, para se referir a países apoiadores do terrorismo ou detentores de armas de destruição em massa. Inicialmente, esse termo abrangia Irã, Iraque e Coreia do Norte e, depois, passou a incluir, também, Cuba, Líbia e Síria (Dodds, 2007).

8 No original: “The world has moved into a new and unsettling geopolitical phase.”

9 No original: “The geopolitical environment is the most dangerous it’s been in decades [...]”

rativa mais ampla: a recessão geopolítica (Bremmer; Kupchan, 2017; 2020; 2021). Ainda que um pouco imprecisa, na definição de Bremmer e Cliff Kupchan (2017), essa narrativa diz respeito ao enfraquecimento das estruturas econômica e de segurança globais e ao aprofundamento das desconfianças, sobretudo, entre as grandes potências.

O presente molda o pensamento futuro. Se as narrativas, metáforas e adjetivações do termo geopolítica têm sido apresentadas mais frequentemente com um viés de preocupação, não seria diferente nos estudos prospectivos. Estes, no geral, contêm discursos que soam como alertas para as próximas décadas, na medida em que a cooperação internacional poderá ser cada vez mais difícil de alcançar, enquanto ela permanece como a única saída para lidar com riscos, ameaças e desafios globais. Os quatro temas desenvolvidos nas próximas seções, identificados nesses estudos, são fortemente influenciados pela leitura de uma conjuntura internacional contemporânea mais *propensa* ao conflito do que à cooperação.

9b.3 Governança global sob pressão

A governança global está sob pressão e seguirá atravessando uma conjuntura crítica até 2040. Esta é a principal afirmação que sintetiza as tendências e incertezas neste tema da dimensão geopolítica. Há mais de dez anos, estudos prospectivos têm caracterizado o termo dessa maneira, como o fez o European Union Institute for Security Studies (EUISS) na publicação intitulada “Global Governance 2025: at a critical juncture”. Entendendo a governança global como “o gerenciamento coletivo de problemas comuns no nível internacional” (EUISS, 2010, p. 11, tradução nossa¹⁰), o instituto destaca que as principais instituições criadas no pós-Segunda Guerra Mundial (Organização das Nações Unidas – ONU, Fundo Monetário Internacional – FMI, entre outras), ou mesmo as mais recentes como o G-20, já não estão à altura desse gerenciamento (EUISS, 2010). Assim, o desequilíbrio entre os desafios atuais e futuros e a capacidade de resposta das instituições provavelmente crescerá, o que deve aumentar a contestação em todos os níveis (local, regional e global; bilateral e multilateral; entre outros) (US, 2021). Enquanto perdurar esse ambiente, não só desequilibrado, mas também volátil e fragmentado, a governança global será praticamente impossível

10 No original: “the collective management of common problems at the international level.”

de ser exercida (UK, 2018).

Desde meados da década de 2010, os relatórios anuais de riscos globais, publicados pelo Fórum Econômico Mundial, têm listado o fracasso da governança regional ou global, a crise do multilateralismo, o fracasso da governança nacional e o colapso ou a crise do estado, não apenas como principais riscos na dimensão geopolítica, senão também como aqueles mais interconectados com riscos de outras dimensões¹¹ – ambiental, social, econômica etc. (WEF, 2015; 2016; 2017; 2018; 2019; 2020; 2021). Nesses relatórios, há inúmeras desconfianças e críticas ao funcionamento de mecanismos multilaterais e instituições internacionais, a exemplo do estudo do EUISS (2010). Chega-se a afirmar, no relatório de 2016, que essas instituições “mantêm sua relevância como locais de encontro, mas não necessariamente têm capacidade e credibilidade para defender efetivamente a paz e a segurança” (WEF, 2016, p. 27, tradução nossa, grifo nosso). Paradoxalmente, quando mais se precisa da governança global, menos provável parece ser exercê-la.

A conectividade – ou hiperconectividade –, física ou virtual, tornará a governança global ainda mais complexa (Gaub, 2019; UK, 2018; US, 2017). A principal característica do mundo será a sua natureza conectada nos próximos anos, definindo tudo, até mesmo a geopolítica (Gaub, 2019). A conectividade, conforme observado por Gaub (2019), é a “nova geopolítica” e está se convertendo em uma das expressões marcantes do poder político e das ambições globais. Há desafios e oportunidades decorrentes da intensificação dessa conectividade. Por um lado, aumentam-se as preocupações relativas à segurança cibernética, à inteligência artificial e aos sistemas de informação (WEF, 2021; EY, 2020; Gaub, 2019; UK, 2018). No estudo prospectivo britânico (UK; 2018), por exemplo, alerta-se sobre o uso da informação (verdadeira ou não) em busca de influência, por atores estatais e não estatais, para dissuadir ou coagir adversários de forma assimétrica. Por outro lado, contrariando as perspectivas de volatilidade, fragmentação, divisão ou instabilidade, o sofrimento humano será mais visível e alcançará uma audiência mais ampla, o que poderá sensibilizar as lideranças globais a enfrentarem desafios conjuntamente, a exemplo de conflitos armados, terrorismo, crises migratórias, entre outros (Gaub, 2019).

Em um mundo mais conectado e, como se verá adiante, multi-

11 Para exemplificar, o relatório de 2020 do WEF demonstra interconexões entre o fracasso da governança global e o fracasso da ação climática (risco ambiental), a instabilidade social e a migração involuntária (riscos sociais) e o comércio de ilícitos (risco econômico) (WEF, 2020).

polar, o poder e a autoridade políticos serão baseados em um sistema híbrido de governança em rede, não limitado aos limites territoriais de um ou mais estados particulares (UK, 2018). Esse sistema será ainda mais complexo e descentralizado, configurando-se como um multilateralismo multi-stakeholder, e as decisões afetarão todas as partes (US, 2021; Gaub, 2019). É pouco provável que haja uma única potência hegemônica (ou grupo de potências) capaz de exercer a liderança global, e sim uma coexistência entre grandes potências, ora competitiva, ora colaborativa (UK, 2018; US, 2021; 2017; Marcial et al., 2017), em meio a um emaranhado de atores não estatais (empresas transnacionais, big techs, movimentos sociais etc.) cada vez mais atuantes na política internacional.

No sistema híbrido de governança em rede, descentralizado e não hegemônico, as grandes potências terão dificuldades para moldar normas, regras e instituições globais, enquanto as potências regionais e os atores não estatais poderão exercer mais influência e liderar em temas negligenciados pelas grandes potências (US, 2021). Se, na primeira década do século XXI, imaginava-se que o resto estaria em ascensão, conforme a analogia proposta por Fareed Zakaria (2008), hoje, não há dúvidas que “países de todos os cantos do mundo não são mais objetos ou observadores, mas atores por seus próprios méritos” (Zakaria, 2008, p. 13). Recentemente, o relatório de riscos globais do WEF (2021) reconheceu que os países emergentes, sejam reconhecidos ou não como potências regionais ou médias, detêm potencial para buscar um equilíbrio de poder mais estável, sustentável e cooperativo. Ainda consta nesse relatório que esses países são os únicos em condições de propor caminhos alternativos em matéria de comércio, segurança e tecnologia (WEF, 2021). Mais uma vez, a metáfora mundo G-Zero de Bremmer (2012) vem à tona, porém, com uma ressalva: a ausência de uma aliança durável não deveria ser explicada pela relutância das grandes potências em reconhecer a perda de um status secular?

É improvável que os estados deixem de ser atores-chave na política internacional (US, 2021; Gaub, 2019; UK, 2018), mas é fato que perderão cada vez mais o monopólio e dividirão maiores responsabilidades com outros atores. No domínio tecnológico, por exemplo, os governos nacionais perderam o monopólio para as big techs (Google, Apple, Amazon, Microsoft etc.), as quais hoje detêm dados e informações de cidadãos de todo o globo e não se sujeitam ao controle estatal (EY, 2020; ROTHKOPF, 2016). Em 2018, o escândalo da violação da privacidade de usuários do Facebook pela Cambridge Analytica, que

levou Mark Zuckerberg a depor no Senado dos Estados Unidos, evidenciando a liberdade de atuação dessas big techs. Já na área de segurança e defesa, observa-se, não apenas a terceirização do uso da força para empresas militares privadas (Academi, Amentum, Wagner Group etc.), senão também a negociação direta e formal com grupos rebeldes ou terroristas, a exemplo do acordo firmado entre os Estados Unidos e o Talibã em 2020. Estima-se que, no futuro, atores não estatais poderiam ter acesso a imagens de satélite de alta-resolução de qualquer lugar da Terra (UK, 2018) ou até mesmo deter capacidades letais que exigiram maior atenção dos governos e cooperação internacional (ESPAÑA, 2019), o que dificulta mais as negociações.

À semelhança das instituições do pós-guerra, os estados também estão falhando. Até o momento, pouco se nota que a segurança nacional não se restringirá à defesa contra exércitos e arsenais, exigindo a resistência e adaptação aos desafios globais compartilhados nos próximos anos (US, 2021). Em meio à crise sanitária da COVID-19, desafios mais imediatos e não militarizados surgiram e poderiam trazer à tona essa percepção acerca da segurança nacional. No entanto, os governos sofreram inúmeras pressões, como a disseminação de informações confusas e a polarização relacionadas com a busca por respostas eficazes, que diminuíram a confiança pública nas autoridades nacionais (US, 2021) e que resultaram em práticas estatais egoísticas em benefício das próprias sociedades.¹² Somam-se a essas pressões um conjunto de desafios em pelo menos três temas que afetarão os estados, e por extensão a governança global, até 2040: a tecnologia, as mudanças climáticas e os domínios públicos internacionais.

Em primeiro lugar, a tecnologia redimensionou a noção de espaço, tanto físico quanto virtual, e a soberania estatal está sendo substituída pela regulação baseada em acordos internacionais – por exemplo, a Convenção de Budapeste (2001) para combater os crimes cibernéticos – ou por vazios jurídicos – por exemplo, a governança global da internet (Espana, 2019). O acesso generalizado à tecnologia¹³ proporciona

12 Durante a pandemia do coronavírus, os países buscaram, inicialmente, praticar a “diplomacia das máscaras”, isto é, garantir equipamentos de proteção individual (EPIs), respiradores, entre outros bens urgentes para lidar com a doença no território nacional, mesmo que fosse preciso atravessar negociações realizadas por outros países. Depois, o acirramento da competição interestatal passou a ser denominado de “guerra das máscaras”.

13 Estima-se que, em 2040, haverá cerca de 100 bilhões de aparelhos conectados à internet (ESPAÑA, 2019).

múltiplas possibilidades de atuação para um número crescente de novos atores, públicos ou privados, sendo que algumas delas são potencialmente ilegais ou perigosas (Espanña, 2019). Enquanto isso, os estados, como ressalta David Rothkopf (2016), estão se movimentando lentamente em relação aos progressos na era digital. Para demonstrar essa lentidão, o autor questiona por que a ideia do voto via internet ainda não se popularizou, uma vez que grande parte dos serviços públicos são ofertados por e-governance em inúmeros países (Rothkopf, 2016). Rothkopf (2016) argumenta que a votação assim realizada ampliaria a participação e a legitimidade do processo democrático, ao passo que as desconfianças e falhas seriam resolvidas ao longo do tempo.

A relação entre tecnologia e democracia não é consensual e, no sentido mais amplo, diz respeito às condições para o exercício da soberania estatal. Yuval Harari (2018) acredita que, em um futuro próximo, a revolução tecnológica poderia estabelecer uma autoridade dos algoritmos do *big data*, não mais humana, territorial e política. Em contraste com o argumento de Rothkopf (2016), uma autoridade algorítmica poderia, entre outras implicações, favorecer a tirania ao concentrar muita informação e poder em um único local, acessível apenas a uma pequena elite (Harari, 2018). Em um mundo multipolar e conectado, a reconfiguração da autoridade teria impacto sistêmico. Por isso, a governança de tecnologias emergentes (inteligência artificial, *big data*, *blockchain* etc.) exigirá maior cooperação de atores estatais e não estatais em prol do estabelecimento de mecanismos de supervisão que equilibrem os benefícios e as demandas, incluindo preocupações éticas e riscos de médio e longo prazo (WEF, 2015).

Em segundo lugar, as mudanças climáticas poderão potencializar as discórdias entre países, à medida que a segurança e o acesso a bens de propriedade comum forem comprometidos (WEF, 2020). Essas mudanças possivelmente ampliarão a competição por recursos, particularmente energéticos, hídricos e alimentares, e ensejaram o surgimento de tensões sociais e estatais (WEF, 2016). No mercado global de alimentos, por exemplo, os efeitos de eventos climáticos extremos poderão elevar os preços de *commodities* agrícolas e despertar o risco de protestos, tumultos e conflitos (UK, 2018). Igualmente, o derretimento do gelo polar possibilitará a navegação pelo Ártico por novas rotas, assim como a extração de recursos marinhos, gerando novas disputas por fronteiras marítimas e terrestres (WEF, 2020). Em síntese, o fracasso na implementação de políticas climáticas regionais ou globais eficazes aumenta a tentação dos países por decisões unilaterais (WEF, 2020),

dificultando a resolução de problemas similares nos âmbitos doméstico e internacional.

Por fim, a governança global dos domínios públicos internacionais – oceanos, espaço aéreo, espaço exterior e espaço cibernético – seguirá como um tema contencioso, e a exploração deles será restrita a alguns países que neles já atuam, ou que o farão em breve (UK, 2018; Brasil, 2017). O espaço exterior, tal como ocorreu durante a Guerra Fria, está retornando como uma das principais arenas de conflito, com dinâmicas próprias e mais críticas quando comparadas com aquelas dos domínios tradicionais (terra, ar e mar) (Espanha, 2019). Estes, por sua vez, também serão objeto de preocupação estratégica, como a rota do Mar do Norte, que ampliará as perspectivas comerciais quanto permitirá à Rússia reposicionar suas frotas navais em direção ao Atlântico (UK, 2018).

Um dos motivos para os contenciosos nos domínios públicos internacionais é a fragilidade das estruturas de governança, a começar pela dificuldade em se estabelecer, com precisão, os limites desses domínios. Essa dificuldade será ainda maior conforme se avançar na exploração deles. Para exemplificar, o governo espanhol pondera que o aumento do uso de *drones* complicará a delimitação entre os espaços aéreo e exterior (Espanha, 2019). Por fim, estima-se que quem não possuir, agora ou no futuro, a capacidade de explorar esses domínios dependerá da compra de bens e serviços de quem o fizer, permanecendo em situação altamente dependente e vulnerável (Brasil, 2017).

9b.4 Rebalanço de poder na ordem internacional

A ordem internacional, atualmente, é caracterizada pela multipolaridade (US, 2021; European Commission, 2021; OXFAM, 2020; Gaub, 2019; Espanha, 2019; Marcial et al., 2017), entretanto, esta não constitui uma forma natural de – e até mesmo propícia à – governança global (Gaub, 2019). Para a Oxfam (2020), essa multipolaridade, em conjunto com novas formas de governança e diversos atores políticos, resulta em um mundo mais dividido e instável. A Comissão Europeia, em recente relatório de prospectiva estratégica, também parte do pressuposto de que essa ordem, além de multipolar, é cada vez mais contestada (European Commission, 2021). Dessa forma, a multipolaridade deve continuar como uma característica intrínseca da ordem internacional até 2040, porém, sujeita a instabilidades e contestações.

A identidade será um dos temas principais de instabilidade e

contestação na ordem internacional (ESPAS, 2019; España, 2019). Historicamente, a proximidade geográfica e as fronteiras foram os elementos essenciais da construção identitária, do “eu” em relação ao “outro”, de quem pertence a uma determinada comunidade (grupo, país, religião etc.) em relação a quem não pertence (Rothkopf, 2016). No entanto, a tecnologia rompeu barreiras e, pela primeira vez, abriu espaço para se pensar em uma comunidade genuinamente global, com indivíduos compartilhando ideias, crenças, valores etc. comuns e se relacionando livremente entre si, independentemente de onde tenham nascido ou residam (Rothkopf, 2016). Com efeito, as próximas décadas serão afetadas pela tensão entre a redefinição do local para a preservação de uma identidade globalizada e a criação de novas forças de homogeneização ou de resistência à homogeneização global (Rothkopf, 2016).

O nacionalismo também está ressurgindo, em diversas partes do globo, como uma força homogeneizante ou de resistência, mais perceptíveis em situações em que as disparidades econômicas estão aumentando após a crise financeira de 2008 (US, 2021; Gaub, 2019; España, 2019; Brasil, 2017). Essas disparidades estão elevando as pressões de sociedades para a adoção de políticas protecionistas para a preservação do emprego e da renda (Brasil, 2017) ou de políticas contrárias à imigração (US, 2021; Gaub, 2019; España, 2019). As pressões nacionalistas, muitas vezes vinculadas a movimentos populistas e de extrema-direita, colocam em xeque dois valores centrais da ordem internacional do pós-guerra, o livre mercado e a democracia, e deverão ser observadas nas próximas décadas. Desde meados da década de 2006, diversos países atravessaram rupturas democráticas, e o número de países e de pessoas vivendo em regimes autoritários é praticamente similar àquele em regimes democráticos (Diamond, 2015). Trata-se da estagnação, ou até mesmo de uma possível reversão, da difusão da democracia pelo globo, que estava se intensificando após o fim da Guerra Fria (Diamond, 2015).

Diferentemente do passado, o nacionalismo não é uma força de construção do estado, e sim uma demonstração do declínio deste, mas igualmente *propensa* a provocar conflitos (Dasgupta, 2018). O desafio não é apenas político, senão também identitário. Os estudos prospectivos demonstram que os fluxos migratórios serão ainda mais elevados no futuro, motivados por questões econômicas, políticas, sociais etc., o que ampliará a diversidade étnica e religiosa dos países (US, 2021; OXFAM, 2020; Gaub, 2019; España, 2019). A despeito de pressões da sociedade, tanto favoráveis quanto contrárias aos migrantes, haverá um

fato importante: até 2050, estima-se que a população islâmica crescerá mais rapidamente do que quaisquer outras religiões e alcançará 2,76 bilhões de fiéis, o que corresponderá a 29,7% dos grupos religiosos globais – próximo aos cristãos, que chegarão a 2,92 bilhões de fiéis, ou 31,4% desses grupos (Pew Research, 2015). É muito provável que, entre os futuros migrantes, o número de islâmicos aumente consideravelmente.

Ao longo dos últimos anos, não faltaram análises, inclusive prospectivas, sobre o processo de transição do poder global que atualmente está em curso. A hegemonia ocidental está em declínio, e os países não ocidentais, notadamente a China e a Índia, estão em ascensão (Stunkel, 2016; US, 2021; 2017; Gaub, 2019). Não é por acaso que uma das principais preocupações estratégicas que têm aparecido nas últimas versões da Estratégica de Segurança Nacional dos Estados Unidos é o rebalço do poder em direção à Ásia-Pacífico (US, 2021; US, 2017). O significado dessa multipolaridade, além de instável e contestada, é uma das grandes indagações das próximas décadas.

Em 2011, Barry Buzan (2011) havia proposto a seguinte provocação: a era das superpotências teria se encerrado. Os Estados Unidos já não detêm tal status nem a China se tornará uma superpotência (Buzan, 2011). Para o autor, o mundo estaria retornando para um globalismo descentralizado, que teria vigorado até o século XVIII, marcado pela coexistência entre grandes potências e a heterogeneidade de interesses, ideias e valores (Buzan, 2011). Alguns anos mais tarde, Oliver Stuenkel (2016) definiu que o “mundo pós-ocidental” poderia caminhar em direção a uma bipolaridade assimétrica provisória, em que os Estados Unidos prosseguiram com a supremacia militar e a China deteria a supremacia econômica, sem que exista disputa ideológica entre ambos. Em comum, os dois autores trabalham com a hipótese de que, seja qual for o arranjo global, a ordem internacional poderá ser mais regionalizada, com uma distribuição menos desigual do poder e maior coexistência entre grandes potências e potências regionais (Buzan, 2011; Stunkel, 2016).

É cada vez mais difícil, como proposto em reflexões prospectivas do passado, listar locais, países ou regiões que se converterão em áreas pivotais da Terra. A ascensão da China, da Índia e da Rússia, muito comentada em estudos recentes (US, 2021; 2017; Gaub, 2019; España, 2019; Brasil, 2017), não implicará, necessariamente, que a Eurásia – ou a Ásia-Pacífico – se tornará o epicentro da nova configuração do poder global. Não há como negligenciar o protagonismo, atual e futuro, de

potências emergentes e as perspectivas de construção de um equilíbrio de poder mais estável e de buscar caminhos alternativos em temas controversos (WEF, 2021). Até 2050, por exemplo, a população africana dobrará e, até o final deste século, será equivalente à população asiática (Espanña, 2019). Mais do que mercado consumidor ou força de trabalho, a África terá mais cidadãos conectados e com acesso à informação, capazes de realizar transformações que repercutirão globalmente (Gaub, 2019; Espanña, 2019). O contexto de surgimento do G-Zero (Bremmer, 2012) deixou claro que a pluralidade de interesses, não a imposição destes, seguirá nas negociações multilaterais, independentemente do diferencial de poder entre os atores envolvidos. Indo além do regionalismo aberto do pós-Guerra Fria, que priorizava a formação de blocos regionais para melhorar a competitividade de países e aumentar a capacidade negociadora, as regiões poderão ser o lócus privilegiado para a resolução dos principais desafios globais (Gaub, 2019; Buzan, 2011).

Uma ordem mais regionalizada não pressupõe a ausência de disputas hegemônicas. As relações sino-americanas deverão ser observadas com bastante cautela nos próximos anos. Há cenários que preveem a intensificação da competição entre Estados Unidos e China, por meio do uso subversivo e agressivo de medidas – por exemplo, campanhas de desinformação –, e o estabelecimento de uma ordem internacional baseada no poder, não em regras (UK, 2018). Os dois países competiriam pela projeção dos próprios interesses, inclusive dos próprios sistemas, sobre o globo, como as cadeias de suprimento, as redes 5G e as instituições de investimento (WEF, 2020). À medida que o poder estadunidense declina, o governo priorizará os recursos limitados para conter a ascensão da China e de outras potências emergentes, o que poderia enfraquecer os laços transatlânticos e a Europa precisará rever as estratégias de inserção internacional (Espanña, 2019).

Em se tratando ainda de disputas hegemônicas, a energia é um tema que merece destaque. As últimas transições hegemônicas estão diretamente relacionadas com transições energéticas: a hegemonia britânica após Revolução Industrial e a hegemonia estadunidense no pós-Segunda Guerra Mundial ocorreram quando, respectivamente, o carvão e o petróleo se tornaram as principais fontes energéticas primárias (Graaf; Soovacool, 2020). Hoje, a descarbonização da energia e a transição para fontes renováveis terão efeitos de longo prazo na geopolítica, na medida em que promoverá o surgimento de novas dependências estratégicas e o desaparecimento de outras – por exemplo, as fontes de hidrocarbonetos (European Commission, 2021; EY, 2020).

A competição sino-americana em meio ao processo de transição energética no século XXI é um evento a ser constantemente observado. Os Estados Unidos deverão redirecionar a atenção para a Ásia, o maior mercado para a exportação de energia, e se esforçarão para deslocar a Rússia do mercado energético europeu – o segundo maior do globo (Espanha, 2019). Imaginava-se que a Europa, eventualmente, poderia resistir a ação estadunidense e adotar políticas contrárias a Washington por causa da dependência dos hidrocarbonetos russos (Espanha, 2019), todavia, a invasão da Ucrânia em fevereiro de 2022 pode contribuir para o fortalecimento da aliança transatlântica enquanto a região busca alternativas para superar essa dependência. Esse fortalecimento tende a passar, paradoxalmente, pelo apoio europeu à projeção de poder dos Estados Unidos na Ásia – e em outras partes do globo –, inclusive para conter a China (Gaub, 2019). Esta, por sua vez, deve alcançar o pico das emissões de carbono até 2030 e o *net zero* até 2060, além de atualmente já ser líder na geração de energia solar e eólica (Zhao et. al., 2020). Eis a dúvida: Pequim será capaz, não apenas de resistir à projeção estadunidense, mas também de liderar a transição energética?

O processo de transição de poder, como recorda Zakaria (2008), é mais visível na área econômica. A principal tendência nessa área é a perda do protagonismo econômico ocidental e a pujança dos mercados emergentes, em particular do sino-indiano. A Europa e o Japão deverão registrar uma taxa de crescimento retraída, enquanto a China e a Índia alcançarão as taxas mais elevadas e se consolidarão como as maiores potências econômicas (Espanha, 2019). Já os Estados Unidos terão crescimento positivo, mas menos poder e influência (Espanha, 2019). Apenas dois países europeus, Alemanha e Reino Unido, estarão entre as dez maiores economias do mundo em 2050 (Gaub, 2019; PWC, 2017). Sete dessas economias serão países emergentes (doravante denominado de E7), os quais terão o dobro do produto interno bruto (PIB), em termos de paridade do poder de compra (ppc), do G7¹⁴ já em 2040 e serão responsáveis por quase 50% do PIB mundial em 2050 (PWC, 2017).

Na área militar, a superioridade estadunidense tende a permanecer indiscutível, a despeito de alterações nos gastos militares globais. Até 2050, a China deverá ter o maior orçamento militar, ultrapassando os Estados Unidos, e a Índia ocupará a terceira posição nesses gastos (UK, 2018). França e Reino Unido, que historicamente estão entre os

14 Grupo constituído por Alemanha, Canadá, Estados Unidos, França, Itália, Japão e Reino Unido.

países com maiores gastos militares, também poderão perder suas posições para outras economias emergentes, como o Brasil (UK, 2018). Essas alterações dificilmente reduzirão a grande assimetria na área militar entre Estados Unidos/Organização do Tratado do Atlântico Norte (Otan) e China/Rússia – ainda que estas sejam aliadas e/ou se aliem a outros países, como Irã –, na medida em que apenas os dois primeiros atores mantêm a capacidade de atuar globalmente (Brasil, 2017).

Mais do que a mensuração dos recursos materiais (econômicos ou militares) de poder, o futuro será marcado pelos recursos ideológicos e menos concentrados nos estados (US, 2021; EY, 2020; Gaub, 2019; Espanha, 2019). Por um lado, como já antecipado por Foucher (1997), o poder dependerá mais da capacidade estatal de empregar diversos mecanismos para influenciar as decisões políticas de outros estados, ou seja, da capacidade de influência relacional (Gaub, 2019). A influência será determinada pelos fluxos comerciais e de ajuda e pelas transferências de armas e tecnologias, mais do que pelo tamanho populacional, PIB, gastos militares, entre outros recursos clássicos (Gaub, 2019). Por outro, não apenas os estados, senão também as cidades, regiões, empresas e movimentos transnacionais exercerão cada vez mais o poder (Gaub, 2019) em meio a um sistema de governança global híbrido, descentralizado e não hegemônico.

Em decorrência de alterações esperadas na natureza do próprio poder, a ordem internacional, mais do que multipolar, poderá ser poli-nodal (poly-nodal) (Gaub, 2019). Em outras palavras, não seria mais definida por polos de poder, e sim pela existência de múltiplos nós – ou seja, “pontos onde os caminhos se relacionam entre si” (Gaub, 2019, p. 19, tradução nossa).¹⁵ Por meio desses nós, atores estatais e não estatais buscarão ampliar a influência relacional, recorrendo predominantemente ao emprego de novas tecnologias (EY, 2020), de modo que as capacidades determinantes serão o número e a qualidade das relações bi e multilaterais (Gaub, 2019). Ainda que soe como um *déjà-vu*, a importância do poder brando (*soft power*)¹⁶ será ampliada no futuro (Gaub, 2019). O que permanece bastante incerto é quais serão os principais nós da ordem poli-nodal e de que forma estes exercerão o poder brando.

15 No original: “points where pathways relate to each other.”

16 Segundo Nye Jr. (2012, p. 44), “o poder brando é a capacidade de afetar outros utilizando meios cooptativos de ajuste da agenda, persuasão e produção de atração positiva para a obtenção dos resultados preferidos.”

9b.5 Conflito: ampliação do espectro de ameaças e riscos

Há três grandes tendências que se consolidaram no âmbito da segurança internacional desde o fim da Segunda Guerra Mundial: a) a ausência de guerra entre grandes potências, incluindo um confronto generalizado, à semelhança das duas guerras mundiais; b) a ausência de guerras entre países da Otan; e c) a redução de conflitos armados interestatais e a elevação de outras formas de conflituosidade, como guerras civis, guerras por procuração (*proxy wars*) terrorismo, insurgência etc. (US, 2021; 2017; UK, 2018; Mearsheimer, 1991). A terceira tendência destaca a elevação dos conflitos intraestatais, internacionalizados ou não, em relação a outros tipos de conflitos (interestatais e extraestatais) desde 1946 (UK, 2018). A internacionalização dos primeiros conflitos – a exemplo da guerra civil na Síria e no Iêmen – tornou-se crescente no século XXI, o que representa cerca de um terço de todos os conflitos armados (UK, 2018), e deve manter-se assim nas décadas seguintes diante do avanço da multipolaridade, do regionalismo e da conectividade global.

Até 2040, é pouco provável que haja um conflito armado em escala global, envolvendo grandes potências, e os conflitos intraestatais – internacionalizados ou não –, inclusive assumindo o formato híbrido, deverão ser predominantes (US, 2021; 2017; España, 2019; UK, 2018; Marcial et al., 2017). A maior parte dos estudos prospectivos, a exemplo do Brasileiro, considera remota a possibilidade de um confronto entre a Rússia e a China, aliadas, e a Otan, sobretudo, por causa da assimetria de poder em favor da última – como mencionado anteriormente – e da globalização do conflito, com risco de uma escalada nuclear e de um colapso financeiro e comercial no mundo (Brasil, 2017). Até pouco tempo atrás, avaliava-se que a guerra irregular estava substituindo a guerra regular em meio a redução da ocorrência de conflitos interestatais. Hoje, a guerra híbrida substitui a primeira, combinando formas convencionais (notadamente, militares) e não convencionais (não militares, como diplomacia, inteligência, informação etc.) (Visacro, 2018), e tende a prevalecer nos próximos anos (Espanña, 2019; UK, 2018; Brasil, 2017).

As interfaces entre a geopolítica global e os conflitos armados costumam ser retratadas por dois fenômenos (WEF, 2016) que contribuem para a popularização da guerra híbrida: o primeiro deles é o vácuo de poder e autoridade em estados frágeis, o que abre espaço para a ascensão de atores não estatais armados e provocam o transbordamento

de crises; e o segundo é a competição estratégica entre estados fortes com interesses divergentes (WEF, 2016). Dada a assimetria de poder (Brasil, 2017) entre os atores em situações potenciais de conflito – por exemplo, a atuação de grupo terrorista para propagar a própria identidade em determinado estado ou no mundo, ou a resistência de um país para resistir à invasão de uma grande potência –, a hibridizade deverá ser priorizada nos combates futuros, principalmente com o emprego de meios não militares para a desestabilização dos adversários (Espanha, 2019).

Os conflitos intraestatais e não estatais deverão elevar-se concomitante a tendência de hibridização da guerra, haverá menor distinção entre esta e a paz (UK, 2018) e crescerão as zonas cinzentas no âmbito da violência organizada, inclusive com a extensão desta para os ambientes urbano, informacional, diplomático etc. (Espanha, 2019). As atividades ilícitas transnacionais – crime organizado, narcotráfico, corrupção etc. – também deverão se intensificar (Marcial et al., 2017) e dificultar a diferenciação entre a paz e a guerra, o legal e o ilegal, o público e o privado. E, finalmente, apesar do declínio nos anos da pandemia, o terrorismo se manterá como uma das principais ameaças à segurança internacional (Marcial et al., 2017; IEP, 2022), porém, com dois possíveis desdobramentos que deverão ser acompanhados nos anos vindouros: o primeiro deles, no contexto da crise da democracia liberal, é a continuidade das motivações políticas à frente das religiosas nos ataques terroristas perpetrados no Ocidente; o segundo é a mudança do foco de atuação do Estado Islâmico (EI) e de seus afiliados para as regiões do Sahel e da África Subsaariana à medida que os governos nacionais, com apoio estrangeiro, recuperam o controle territorial na Síria e no Iraque (IEP, 2022).

As dimensões físicas da guerra serão menos importantes do que as dimensões cognitivas e morais, e a conflituosidade poderá ser mais personalizada, atingindo indivíduos e suas famílias de novas maneiras (UK, 2018). Os britânicos são categóricos quando afirmam: “[é] provável que a guerra híbrida seja uma característica generalizada de conflitos futuros, ocorrendo simultaneamente em várias regiões geográficas.” (UK, 2018, p. 133, tradução nossa).¹⁷ Além disso, o formato híbrido da conflituosidade será potencializado pelos progressos tecnológicos, notadamente nos campos da (des)informação e da cibernética, o que

17 No original: “Hybrid warfare is likely to be a pervasive feature of future conflict, occurring simultaneously across multiple geographical regions.”

tornará a belicosidade mais rápida, mais (ou menos) letal e mais multi-dimensional (Gaub, 2019; España, 2019; UK, 2018).

Não obstante as dimensões físicas percam cada vez mais a importância, a preocupação com o emprego de armas de destruição em massa continuará no futuro (US, 2021; 2017; Gaub, 2019; UK, 2018). Estima-se que o número de estados nuclearmente armados aumentará (UK, 2018) – por exemplo, Irã, Japão, Coreia do Sul, entre outros, poderiam contar com esse tipo de armamento – em um cenário *geopolítico* mais competitivo e complicado para a governança global. A proliferação nuclear acentuará a instabilidade na segurança internacional, por conseguinte, países poderão estabelecer sistemas de armas, inclusive nucleares, baseados no espaço e atores violentos não estatais, particularmente grupos terroristas, poderão ter acesso mais frequente a artefatos nucleares (UK, 2018). Além disso, o progresso tecnológico também reduzirá o custo do desenvolvimento de armas químicas, biológicas e radiológicas, o que, aliado aos avanços na genética e nas ciências biológicas, elevará os riscos de uso dessas armas por novos mecanismos de entrega difíceis de serem detectados (UK, 2018).

As premissas do planejamento de defesa e segurança precisarão ser revisadas, envolvendo aspectos relacionados com o acesso, a base, a logística de rotas e o ambiente de emprego das capacidades militares (Gaub, 2019). Além do enfrentamento convencional nos campos de batalha, as forças armadas poderão atuar, com muito mais frequência, nos ambientes urbano e virtual (Espana, 2019; Gaub, 2019; UK, 2018). Nos cenários de incerteza que prevalecem na geopolítica global, os gastos militares deverão manter-se elevados, e as transferências de armamentos poderão registrar novas trajetórias de crescimento. Ainda que os estudos prospectivos não dediquem atenção específica a esses dois temas, os dados apresentados pelo Stockholm International Peace Research Institute (Sipri) mostram que o volume atual dos gastos militares e das transferências de armamentos estão maiores do que na década de 1990.

As causas e a condução dos conflitos futuros são constantemente exploradas nos estudos prospectivos, desde aspectos mais tradicionais a outros recentes. O equilíbrio de poder permanece como uma das explicações clássicas: os conflitos ocorrerão quando os diferenciais relativos do poder forem maiores, ou quando o poder for contestado ou redistribuído (UK, 2018; OXFAM, 2020). Nesse sentido, a multipolaridade não possibilita precisar esse equilíbrio e poderia tornar-se uma fonte de conflito. A conjuntura crítica da governança global afeta a confiança nos mecanismos de segurança coletiva, gerando condições para que

potências regionais ou menores procurem adquirir novas capacidades, como armas convencionais, cibernéticas e até nucleares (WEF, 2017). Ainda no cálculo dos diferenciais, da contestação e da redistribuição do poder, devem ser incluídos os atores não estatais, que explorarão novas fontes de poder, principalmente aquelas oportunizadas pelos progressos tecnológicos, e colocarão em xeque normas e instituições garantidoras da estabilidade nas últimas décadas (US, 2021; UK, 2018).

Além do equilíbrio de poder, outras fontes tradicionais de conflitos são a escassez de recursos e a desigualdade econômica (OXFAM, 2020; UK, 2018). Não apenas a área energética pode ser marcada por competição ou disputa hegemônica, como explicado na seção anterior, mas as inseguranças hídrica e alimentar poderão ser elementos catalisadores de conflitos pelo globo (US, 2021; EY, 2020; Gaub, 2019; UK, 2018; Marcial et al., 2017). Ainda que essa insegurança seja comentada na África e no Oriente Médio, a União Europeia, por exemplo, já sofre problemas de escassez hídrica e de seca em um terço de seu território, onde 44% da água potável é utilizada para a geração de energia e 24% para a irrigação (Gaub, 2019). As potências emergentes também terão que lidar com o problema da escassez, principalmente no sentido de garantir o acesso a recursos energéticos, hídricos e alimentares para um contingente populacional cada vez maior (Espanha, 2019; Marcial et al., 2017; Brasil, 2017). À diferença das preocupações malthusianas do passado, a escassez poderá ser agravada pelos impactos não mitigáveis das mudanças climáticas (UK, 2018) e provocar uma instabilidade sistêmica (Espanha, 2019).

Em se tratando da condução dos conflitos futuros, as tecnologias disruptivas (em particular a automação e a inteligência artificial) alterarão a natureza da guerra (US, 2021; EY, 2020; UK, 2018; Lele, 2019). Como já ressaltado, essas tecnologias, às quais também poderiam ser acrescidas as armas hipersônicas, impressão 3D, nanorrobótica, fontes de energia inesgotáveis etc., estarão ainda mais integradas entre si e permanecerão nas próximas gerações da guerra, ou até poderão ser catalisadores desta (Lele, 2019), como prospectou Gleist e Lonh (2018) acerca da guerra nuclear. Dessa forma, mais do que o ciberespaço e dos domínios convencionais (marítimo, terrestre, aéreo e espacial), as realidades virtual e aumentada se converterão em novas arenas de conflito (UK, 2018). Por fim, ainda se destaca a prevalência de “guerras frias” tecnológicas ou tecno-econômicas – ou seja, de guerras “invisíveis” e não sangrentas –, com o objetivo de alcançar a supremacia tecnológica e/ou moldar a próxima geração da infraestrutura de tecnologia (EY,

2020).

A complexidade do fenômeno bélico nas próximas décadas tornará ainda mais difícil o emprego dos mecanismos de resolução de conflitos. Assim como os gastos militares e transferências de armamentos, os estudos prospectivos também não dedicam tanta atenção a esse problema. No máximo, esses estudos reconhecem que os meios não militares, notadamente diplomáticos, políticos, econômicos e até mesmo tecnológicos, baseados no poder brando serão ainda mais importantes para prevenir ou resolver os conflitos futuros (US, 2021; Gaub, 2019; UK, 2018). A dificuldade em lidar com a belicosidade se evidencia em uma tendência atual contraditória: os conflitos armados estão se elevando, enquanto as operações de paz, um dos principais mecanismos onusianos de segurança internacional, estão diminuindo. De 2016 até outubro de 2022, houve a redução de 16 para 12 operações de paz, assim como a redução do orçamento (de 7,9 bilhões para 6,3 bilhões de dólares) e do contingente delas (de 100.376 para 73.974 pessoas uniformizadas).¹⁸ Em termos geográficos, as operações em curso ainda estão concentradas no continente africano e no Oriente Médio.¹⁹ As tensões em outras regiões, como no leste europeu e na Ásia-Pacífico, ainda dividem grandes potências e países emergentes, complicando o estabelecimento de operações de paz ou a resolução do conflito.

9b.6 Um olhar para o entorno estratégico Brasileiro

O entorno estratégico Brasileiro (EEB) costuma ser retratado de maneira marginalizada nos estudos prospectivos ocidentais, os quais identificam tendências e incertezas gerais em determinados países e/ou regiões desse entorno (US, 2021; 2017; Gaub, 2019; Espanha, 2019; UK, 2018). Apenas nos estudos publicados no Brasil (Marcial et al., 2017; Brasil 2017) é que o tema desta seção tem destaque. O EEB, conforme estabelecido na Política Nacional de Defesa de 2020, é “a área de interesse prioritário para o Brasil” (Brasil, 2020, p. 77) e abrange a América do Sul, os países da costa ocidental africana, o Atlântico Sul e a Antártica. As tendências e incertezas levantadas a respeito dessa área podem ser agrupadas em pelo menos quatro vertentes:

18 Os dados foram extraídos e compilados do site do United Nations Peacekeeping, disponível em: <https://peacekeeping.un.org/en/data>. Acesso em: 20 out. 2022.

19 Até outubro de 2022, havia apenas duas operações de paz fora das regiões mencionadas: a United Nations Mission in Kosovo (UNMIK) e a United Nations Military Observer Group in India and Pakistan (UNMOGIP).

1) o aumento da projeção de poder extrarregional; 2) a importância dos recursos naturais; 3) a elevação da defasagem e da dependência tecnológica em áreas estratégicas; e 4) a intensificação da violência e das atividades ilícitas transnacionais.

Antes de entrar nas quatro vertentes, há algumas breves considerações sobre as perspectivas dos estudos prospectivos ocidentais para o entorno estratégico Brasileiro. No geral, a área prioritária para o Brasil não é explicitamente contemplada, e as referências mais próximas são América Latina, África ou a regiões específicas desse continente (Magreb, África Subsaariana etc.). Assim, ressalta-se que as considerações seguintes, por vezes, podem extrapolar o EEB. Começando pela África, o discurso de que o continente permanecerá marginalizado aparece literalmente no estudo espanhol (España, 2019) e de que a localização estratégica, principalmente no comércio global, poderá ser diminuída com a abertura de novas rotas no Ártico (UK, 2018). Ainda assim, esses estudos levantam potencialidades e desafios acerca da África, como a demanda por maior representação e influência em organizações internacionais e regionais em decorrência do crescimento econômico e demográfico (US, 2021; España, 2019) e a necessidade de prevenção de conflitos diante de situações de escassez, de migrações ou de proliferação da violência extremista – particularmente na bacia do Lago Chade, no Sahel, no Chifre da África e na África Central (Gaub, 2019; UK, 2018). Outras questões, como o crescimento e a transição demográficos, a intensificação da urbanização, a instabilidade política e social, o aumento da conectividade etc. também são constantemente exploradas nesses estudos (US, 2021; Gaub, 2019; España, 2019; UK, 2018).

Já no caso da América do Sul, apenas o estudo britânico trata especificamente da região e apresenta pelo menos três questões prospectivas. A primeira delas é que as projeções de elevação da temperatura global entre 1°C e 2°C poderão causar prejuízos de até 100 bilhões de dólares ou de 2% a 5% no PIB de países sul-americanos até 2050 (UK, 2018). A segunda é que esses países aumentarão os interesses estratégicos na Antártica, principalmente relacionados com a exploração de recursos naturais (UK, 2018). A terceira é que a violência criminal na América do Sul, sobretudo, as taxas de homicídio, deverá permanecer elevada nas próximas décadas (UK, 2018). Os demais estudos fazem referência à América Latina e, em grande medida, pontuam temas semelhantes àqueles da África (US, 2021; Gaub, 2019; España, 2019; UK, 2018).

Com relação à primeira vertente, as grandes potências, indivi-

dual ou conjuntamente (por exemplo, Otan), aumentarão a presença no entorno estratégico Brasileiro (US, 2021; UK, 2018; Marcial et al., 2017; Brasil, 2017). Nas últimas décadas, os Estados Unidos, a União Europeia e a Otan adotaram medidas que mostram a intenção de projetar poder na América do Sul e no Atlântico Sul. Em contraposição, Rússia e China, pautando-se em uma retórica antiocidental e se aproveitando de divisões no Ocidente, procuraram fortalecer a cooperação com países africanos e se aproximar mais de países sul-americanos (US, 2021; UK, 2018). Particularmente, o interesse chinês não é apenas econômico, mas também estratégico, na medida em que Pequim deverá estabelecer a segunda base militar em território estrangeiro no EBB, possivelmente na Guiné Equatorial (Phillips, 2021). A despeito dos esforços sino-russos, o estudo Brasileiro não prevê a formação de novas alianças envolvendo as duas potências e países desse entorno, mas alerta que os Estados Unidos e a Otan poderão incrementar mais as capacidades militares na região para garantir um equilíbrio de poder que lhes favoreça (Brasil, 2017). Ainda nesse estudo, indica-se que a competição entre grandes potências em assuntos relacionados com o território antártico se intensificará até 2040 (Brasil, 2017).

A segunda vertente diz respeito à continuidade dos recursos naturais como elementos estratégicos da inserção internacional de países sul-americanos e da costa ocidental africana (Marcial et al., 2017; Brasil, 2017). As possibilidades de elevação de situações de insegurança alimentar e hídrica no mundo, assim como de escassez de recursos não renováveis (sobretudo, de combustíveis fósseis e de minérios), diante do aumento da demanda global poderão aumentar tensões no EEB, tanto entre países desse entorno quanto entre eles e potências extrarregionais (Marcial et al., 2017; Brasil, 2017). A Amazônia, o Sahel, o Magrebe, entre outros, permanecerão como áreas prioritárias para a segurança e defesa de países por onde se estende tais territórios, o que, contrariando e não se restringindo a expectativas de competição, poderá trazer oportunidades para incrementar a cooperação regional (Marcial et al., 2017; UK, 2018).

A terceira vertente, de certa forma relacionada com a anterior, é que os países do entorno estratégico Brasileiro estarão mais defasados e mais dependentes tecnologicamente em áreas estratégicas (Marcial et al., 2017; Brasil, 2017). A vocação econômica dos dois lados do Atlântico desse entorno está, predominantemente, na exportação de *commodities* agrícolas, minerais, energéticas etc. (Brasil, 2017). Não obstante essa vocação proporcione pesquisa e desenvolvimento de tec-

nologias avançadas, sobretudo, na área agrícola e seja importante para lidar com cenários de insegurança alimentar e hídrica, a América do Sul e a costa ocidental da África dificilmente estará na vanguarda tecnológica global (Marcial et al., 2017; Brasil, 2017). Com efeito, os países do EEB poderão tornar-se ainda mais dependentes de produtos e serviços ofertados por países tecnologicamente mais avançados, principalmente nas áreas de defesa, espacial e de comunicação e informação (Brasil, 2017).

Finalmente, a quarta vertente é que a violência e as atividades ilícitas transnacionais deverão intensificar-se em países do entorno estratégico Brasileiro (US, 2021; UK, 2018; Marcial et al., 2017; Brasil, 2017). A violência homicida e criminal deverá permanecer elevada nesse entorno, principalmente na vertente sul-americana (Brasil, 2017). Os conflitos por recursos, como já mencionado, poderão ser um fator de instabilidade regional, assim como a pirataria na costa da Guiné e o terrorismo no Magrebe e no Sahel (Brasil, 2017). Aliás, não só nesses dois locais, o terrorismo (de extremas direita ou esquerda) também poderá ressurgir na América Latina, motivado por questões raciais, ambientalistas, antigovernamentais etc. (US, 2021). Outro fator de instabilidade será a intensificação das atividades ilícitas transnacionais, particularmente do narcotráfico e do tráfico humano, na medida em que novas substâncias psicoativas poderão ser produzidas e comercializadas e o aumento dos fluxos migratórios trarão novas oportunidades para o contrabando de pessoas (Marcial et al., 2017).

Além das quatro vertentes, há duas tendências que estão em curso desde meados da década de 1980 no entorno estratégico Brasileiro e que possivelmente estarão presentes nos próximos anos. A primeira delas é a manutenção da cooperação regional em matéria de segurança e defesa (Marcial et al., 2017). A despeito das continuidades e rupturas nesse processo, nem sempre convergente dos dois lados do Atlântico, houve o estabelecimento ou o aprimoramento de mecanismos e instâncias regionais a respeito dos dois temas. Em comum, países do EEB compõem a Zona de Paz e Cooperação do Atlântico Sul (Zopacas) e participam da Cúpula América do Sul-África. Além disso, há instâncias específicas para segurança e defesa em cada lado, como o Conselho de Defesa Sul-Americano, o Conselho de Paz e Segurança e a Arquitetura Africana de Paz e Segurança – ambas iniciativas da União Africana. Em uma ordem multipolar e mais regionalizada, haverá oportunidades para o aprofundamento da cooperação entre países sul-americanos e africanos.

A segunda tendência é a manutenção do emprego das forças armadas em questões que não estão diretamente relacionadas com a sua atividade fim (Marcial et al., 2017). Desde a década de 1980, países sul-americanos têm recorrido aos militares para combater a criminalidade organizada, em particular o narcotráfico. No Brasil, ampliou-se a utilização das forças armadas em missões de garantia da lei e da ordem (GLO) para a preservação da segurança pública. Ainda que seja mais visível na América do Sul, o combate militarizado ao terrorismo, a exemplo do Boko Haram na Nigéria, ou à pirataria, especificamente no Golfo da Guiné, demonstra que essa tendência também está presente na vertente africana do entorno estratégico Brasileiro. Conseqüentemente, o emprego castrense em outras atividades tornará ainda mais complexo o planejamento de segurança e defesa dos países desse entorno para a atividade fim, especificamente a guerra do futuro.

Tendências e incertezas da geopolítica

Para concluir este capítulo, a lista 1 sintetiza as sementes de futuro coletadas e analisadas nos estudos de futuro. As tendências foram descritas no decorrer desse capítulo, enquanto as incertezas críticas são incluídas também na lista 1.

Lista 1. Lista de sementes de futuro na dimensão geopolítica

Tendências

- O desequilíbrio entre os desafios atuais e futuros e a capacidade de resposta das instituições provavelmente crescerá, o que deve aumentar a contestação em todos os níveis.
- A principal característica do mundo será a sua natureza conectada nos próximos anos, definindo tudo, até mesmo a geopolítica.
- O poder e a autoridade políticos serão baseados em um sistema híbrido de governança em rede, não limitado aos limites territoriais de um ou mais estados particulares.
- As grandes potências terão dificuldades para moldar normas, regras e instituições globais, enquanto as potências regionais e os atores não estatais poderão exercer mais influência e liderar em temas negligenciados pelas grandes potências.
- É improvável que os estados deixem de ser atores-chave na política internacional, mas é fato que perderão cada vez mais o monopólio

- e dividirão maiores responsabilidades com outros atores.
- A segurança nacional não se restringirá à defesa contra exércitos e arsenais, exigindo a resistência e adaptação aos desafios globais compartilhados nos próximos anos.
 - A governança de tecnologias emergentes (inteligência artificial, *big data*, *blockchain* etc.) exigirá maior cooperação de atores estatais e não estatais em prol do estabelecimento de mecanismos de supervisão que equilibrem os benefícios e as demandas, incluindo preocupações éticas e riscos de médio e longo prazo.
 - As mudanças climáticas poderão potencializar as discórdias entre países, à medida que a segurança e o acesso a bens de propriedade comum forem comprometidos.
 - A governança global dos domínios públicos internacionais – oceanos, espaço aéreo, espaço exterior e espaço cibernético – seguirá como um tema contencioso, e a exploração deles será restrita a alguns países que neles já atuam, ou que o farão em breve.
 - A multipolaridade deve continuar como uma característica intrínseca da ordem internacional até 2040, porém, sujeita a instabilidades e contestações.
 - As próximas décadas serão afetadas pela tensão entre a redefinição do local para a preservação de uma identidade globalizada e a criação de novas forças de homogeneização ou de resistência à homogeneização global.
 - A ordem internacional poderá ser mais regionalizada, com uma distribuição menos desigual do poder e maior coexistência entre grandes potências e potências regionais.
 - As regiões poderão ser o lócus privilegiado para a resolução dos principais desafios globais.
 - A descarbonização da energia e a transição para fontes renováveis terão efeitos de longo prazo na geopolítica, na medida em que promoverá o surgimento de novas dependências estratégicas e o desaparecimento de outras.
 - A perda do protagonismo econômico ocidental e a pujança dos mercados emergentes, em particular do sino-indiano.
 - A continuidade da grande assimetria na área militar entre Estados Unidos/Organização do Tratado do Atlântico Norte (Otan) e China/Rússia – ainda que estas sejam aliadas e/ou se aliem a outros países, como Irã –, na medida em que apenas os dois primeiros atores mantêm a capacidade de atuar globalmente.
 - Mais do que a mensuração dos recursos materiais (econômicos ou

militares) de poder, o futuro será marcado pelos recursos ideológicos e menos concentrados nos estados.

- Em decorrência de alterações esperadas na natureza do próprio poder, a ordem internacional, mais do que multipolar, poderá ser poli-nodal.
- Até 2040, é pouco provável que haja um conflito armado em escala global, envolvendo grandes potências, e os conflitos intraestatais – internacionalizados ou não –, inclusive assumindo o formato híbrido, deverão ser predominantes.
- Os conflitos intraestatais e não estatais deverão elevar-se concomitante a tendência de hibridização da guerra, haverá menor distinção entre esta e a paz (e crescerão as zonas cinzentas no âmbito da violência organizada, inclusive com a extensão desta para os ambientes urbano, informacional, diplomático etc.
- As dimensões físicas da guerra serão menos importantes do que as dimensões cognitivas e morais, e a conflituosidade poderá ser mais personalizada, atingindo indivíduos e suas famílias de novas maneiras.
- O formato híbrido da conflituosidade será potencializado pelos progressos tecnológicos, notadamente nos campos da (des)informação e da cibernética, o que tornará a belicosidade mais rápida, mais (ou menos) letal e mais multidimensional.
- A preocupação com o emprego de armas de destruição em massa continuará no futuro.
- As premissas do planejamento de defesa e segurança precisarão ser revisadas, envolvendo aspectos relacionados com o acesso, a base, a logística de rotas e o ambiente de emprego das capacidades militares.
- Os gastos militares deverão manter-se elevados, e as transferências de armamentos poderão registrar novas trajetórias de crescimento.
- Os conflitos ocorrerão quando os diferenciais relativos do poder forem maiores, ou quando o poder for contestado ou redistribuído.
- As inseguranças hídrica e alimentar poderão ser elementos catalisadores de conflitos pelo globo.
- As tecnologias disruptivas (em particular a automação e a inteligência artificial) alterarão a natureza da guerra.
- A complexidade do fenômeno bélico nas próximas décadas tornará ainda mais difícil o emprego dos mecanismos de resolução de conflitos.
- As grandes potências, individual ou conjuntamente (por exemplo,

- Otan), aumentarão a presença no entorno estratégico Brasileiro.
- A continuidade dos recursos naturais como elementos estratégicos da inserção internacional de países sul-americanos e da costa ocidental africana.
 - Os países do entorno estratégico Brasileiro estarão mais defasados e mais dependentes tecnologicamente em áreas estratégicas.
 - A violência e as atividades ilícitas transnacionais deverão intensificar-se em países do entorno estratégico Brasileiro.
 - A manutenção da cooperação regional em matéria de segurança e defesa.
 - A manutenção do emprego das forças armadas em questões que não estão diretamente relacionadas com a sua atividade fim.

Incertezas

- As principais instituições multilaterais existentes serão reformadas e conseguirão lidar com os desafios globais eficazmente?
- De que forma a conectividade global redefinirá a geopolítica?
- Haverá a formação de uma ampla coalizão internacional, composta por atores estatais e não estatais, capaz de contribuir com novas formas de governança global?
- Haverá uma compatibilização entre os desafios globais e as demandas de segurança nacional?
- Qual será o modelo de governança de tecnologias emergentes?
- Quais as implicações da multipolaridade na geopolítica global?
- A crise da democracia e o ressurgimento do nacionalismo continuarão como uma expressão da tensão entre a identidade globalizada e as forças de homogeneização ou de resistência?
- De que forma as potências regionais ou menores se relacionarão com as grandes potências extra-regionais em uma ordem multipolar e mais regionalizada?
- Qual será o papel dos países produtores de hidrocarbonetos (sobretudo, de petróleo e gás), em particular do Oriente Médio, na geopolítica global? A China liderará o processo de transição energética? Como os países ocidentais, em particular a Europa, se comportará diante dos desafios relacionados com a descarbonização da economia?
- O protagonismo econômico dos mercados emergentes será sustentável?
- Qual será o alcance das capacidades militares chinesa e russa no

futuro?

- Quais serão os nós da ordem internacional poli-nodal?
- Haverá um deslocamento dos principais focos de conflitos armados no globo, particularmente do Oriente Médio e da África Subsaariana para outras regiões?
- Como será a evolução do direito internacional dos conflitos armados e do direito humanitário para lidar com a guerra híbrida, principalmente com a população civil?
- Haverá a utilização de armas de destruição em massa nos conflitos híbridos do futuro?
- Quais as tecnologias militares disruptivas que estarão presentes em mais de uma geração da guerra?
- Quais serão os mecanismos mais adequados e eficientes para a resolução de conflitos armados no futuro?
- Haverá conflitos armados entre grandes potências e países do entorno estratégico Brasileiro?
- Haverá risco de transbordamento de situações de insegurança entre países do entorno estratégico Brasileiro?
- Haverá o fortalecimento da cooperação regional em matéria de segurança e defesa, principalmente em nível mais institucionalizado, entre os países do entorno estratégico Brasileiro?

Parte IV – *Ciência e Tecnologia*

Por Elaine C. Marcial¹ e Marcello Pio²

Na dimensão *ciência e tecnologia*, destacam-se a integração do desenvolvimento da ciência com o da tecnologia contribuindo com os avanços nos campos da *população e sociedade* e da *geopolítica* mundial, além da proteção ao *meio ambiente*, e nos resultados e indicadores econômicos nos diversos países.

Os temas identificados por meio da pesquisa realizada junto a *experts* no Brasil e no exterior (Pio; Marcial, 2021) estão listados a seguir bem como as principais sementes de futuro associadas a eles e suas respectivas justificativas.

Aceleração do desenvolvimento tecnológico, multidisciplinar, com aplicações tecnológicas cada vez mais integradas (convergência tecnológica).

- Conectividade e mundo digital.
- Transações e segurança cibernética.
- Automação 4.0.
- Materiais estratégicos e novos materiais.
- Exploração espacial.
- Avanços das tecnologias da fronteira do conhecimento.

De uma forma geral, os temas sugeridos pelos *experts* nas duas pesquisas refletem a continuidade do processo de evolução desta dimensão (Marcial et. al., 2015; Pio; Marcial, 2021). Os novos temas,

1 Elaine C. Marcial, Doutorado em Ciência da Informação, especialista em estudos de futuro e inteligência competitiva, Professora do Mestrado na Universidade Católica de Brasília (UCB) e Coordenadora do Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos na Universidade Católica de Brasília (NEP-UCB).

2 Marcello José Pio, Doutor em Ciências, especialista em estudos de futuro. Responsável pelos estudos de prospectiva do Observatório Nacional da Indústria (CNI), pesquisador convidado do Grupo de Pesquisas e Estudos Prospectivos da UCB (NEP/UCB), e pesquisador associado do Centro Internacional para el Desarrollo Sostenible do Panamá (CIDES).

identificados na pesquisa de 2021, de certa forma, complementam o arcabouço dos eventos associados aos desenvolvimentos científico e tecnológico, suas respectivas inserções na sociedade e os possíveis impactos dessas inserções (Pio; Marcial, 2021).

Enfim, dos temas, subtemas e sementes identificados nas pesquisas, pode-se verificar a importância, dada pelos *experts*, à dimensão *Ciência e Tecnologia* como base para uma nova organização societária, ora exercendo o protagonismo na solução de determinados problemas hoje enfrentados, ora aumentando a complexidade das relações entre indivíduos, governos, regiões ou países.

Esta parte está dividida em sete capítulos. O primeiro trata da aceleração do desenvolvimento tecnológico, multidisciplinar, com aplicações tecnológicas cada vez mais integradas. É seguido pelos capítulos conectividade, mundo digital e segurança cibernética, onde a conexão em alta velocidade e em banda larga são tratados juntamente com o avanço da Internet das Coisas. Automação 4.0 e o papel da robótica, da inteligência artificial, dos *drones* e da impressora 3D são também abordados. Materiais estratégicos e novos materiais são apresentados. Os capítulos seguintes tratam dos temas exploração do espaço e avanços das tecnologias da fronteira do conhecimento e mostram o *spin-off* desses temas para a humanidade.

Capítulo 10

Desenvolvimento tecnológico multidisciplinar

Por Elaine C. Marcial¹

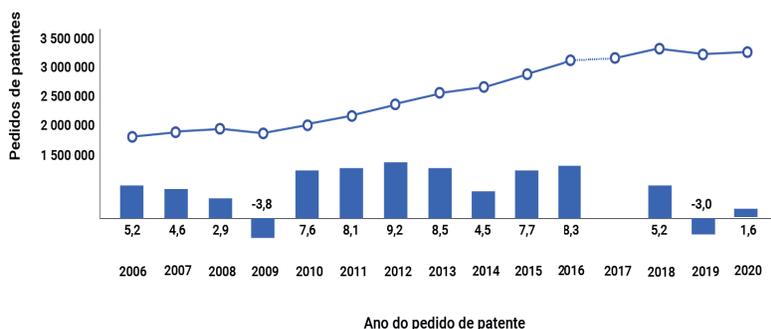
¹Elaine C. Marcial, Doutorado em Ciência da Informação, especialista em estudos de futuro e inteligência competitiva, Professora do Mestrado na Universidade Católica de Brasília (UCB) e Coordenadora do Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos na Universidade Católica de Brasília (NEP-UCB).

O primeiro tema tratado nesta dimensão converge outros três temas identificados na pesquisa realizada junto a *experts* em 2021 (Pio; Marcial, 2021): a saber “Aceleração e desenvolvimento tecnológico”, “Convergência tecnológica” e “Cooperação tecnológica”. Tais temas contemplam diversos tipos de sementes de futuro diferentes conforme será abordado a seguir.

10.1 Aceleração do desenvolvimento tecnológico

A aceleração do desenvolvimento tecnológico é uma importante tendência que vem modificando o mundo. Ela pode ser verificada em todas as áreas do conhecimento e mensurada de diversas formas. Um indicador evidente desse desenvolvimento é o crescimento do número de pedidos e de concessão de patentes no mundo, conforme apresentado nas Figuras 13.1 e 13.2 respectivamente. Essas Figuras mostram que em 14 anos os dados referentes à solicitação e concessão de patentes mais que dobraram, confirmando a tendência de aceleração do desenvolvimento tecnológico.

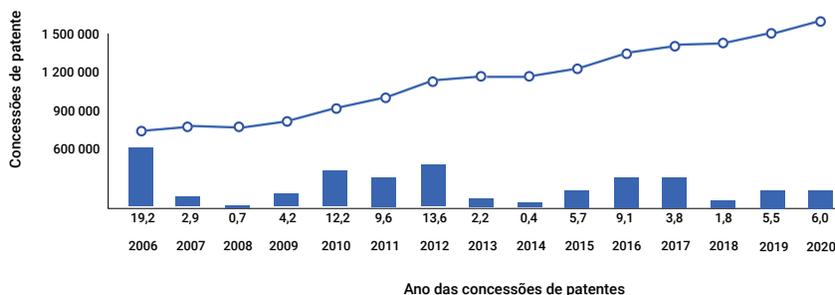
Figura 10.1 – Evolução do total de pedidos de patentes no mundo, 2006-2020



Fonte: WIPO (2021a).

Nota: Os totais mundiais são estimativas da WIPO usando dados cobrindo 161 escritórios de patentes. Esses totais incluem os pedidos apresentados diretamente com o nacional e escritórios regionais e aplicações que entram em escritórios por meio da fase nacional do Tratado de Cooperação de Patentes (quando aplicável). Os dados pré-2017 da China não são comparáveis devido a uma mudança na metodologia. Devido a esta quebra na série de dados e ao elevado número de registros na China, não é possível relatar uma taxa de crescimento precisa de 2017 em nível mundial (consulte a seção de descrição de dados em Informações adicionais para obter detalhes). Fonte: Banco de dados de estatísticas da WIPO, setembro de 2021 (WIPO, 2021a).

Figura 10.2 – Evolução do total de concessões de patentes no mundo, 2006-2020



Fonte: WIPO (2021a).

Nota: Os totais mundiais são estimativas da WIPO usando dados cobrindo 155 escritórios de patentes. Esses totais incluem concessões de patentes com base em pedidos depositados diretamente em escritórios nacionais e regionais e patentes concedidas por escritórios com base na fase nacional do Tratado de Cooperação de Patentes (quando aplicável). Fonte: Banco de dados de estatísticas da WIPO, setembro de 2021 (WIPO, 2021).

Destaca-se que desde 2010 a Ásia lidera os pedidos de patente no mundo, e esse volume, em comparação com 2020, mais que duplicou. Segundo o relatório WIPO (2021), a Ásia é o centro global da atividade de registro de patentes (Figura 10.3).

Figura 10.3 – Pedidos de patentes por região 2010-2020

Região	Número de aplicações		Participação de residentes %		Participação total mundial %		Média de crescimento % 2010-2020
	2010	2020	2010	2020	2010	2020	
África	12.700	16.400	15,7	20,7	0,6	0,5	2,6
Ásia	1.028.700	2.183.400	73,5	82,9	51,5	66,6	7,8
Euroa	343.300	357.900	64,6	57,8	17,2	10,9	0,4
América Latina e Caribe	55.400	52.200	11,7	16,3	2,8	1,6	-0,6
América do Norte	525.700	631.700	46,9	43,4	26,3	19,3	1,9
Oceania	31.600	35.100	12,7	7,7	1,6	1,1	1,1
Mundo	1.997.400	3.276.700	61,9	70,3	100,0	100,0	5,1

Fonte: WIPO (2021a).

Nota: Os totais por região geográfica são estimativas da WIPO usando dados cobrindo 161 escritórios de PI. Cada região inclui o seguinte número de escritórios: África (31), Ásia (46), Europa (45), América Latina e Caribe (32), América do Norte (2) e Oceania (5). Fonte: Banco de dados de estatísticas da WIPO, setembro de 2021 (WIPO, 2021a).

10.2 Cooperação científica e tecnológica

O desenvolvimento tecnológico tem ocorrido de forma multidisciplinar e cada vez mais integrado, fruto do crescimento do processo de cooperação científica e tecnológica. Conforme abordado no livro “Me-

gatendências mundiais 2030”, o progresso científico será cada vez mais impulsionado pela intensa interação entre os vários campos com os da física, da química, da biologia molecular, dos materiais, da informática e das telecomunicações. Cresce a interação entre disciplinas de diversas áreas do conhecimento, o que exige a cooperação entre técnicos e cientistas, para a geração de novos produtos ou serviços. Tal cooperação, envolvendo até diversos países, contribui muito com os avanços em *ciência e tecnologia* observados. A construção da International Space Station é um exemplo de cooperação internacional que envolveu 15 países.

Outro exemplo é o projeto ITER¹ (o caminho em latim), considerado o projeto mais ambicioso do mundo de geração de energia limpa por meio da fusão nuclear. Dentre os membros do ITER² encontram-se China, União Europeia, Índia, Japão, Coreia, Rússia e os Estados Unidos, resultando 35 nações envolvidas, sendo 27 da União Europeia, mais Reino Unido e Suíça, que trabalham em cooperação.

O projeto Artemis³ da Nasa também é outro exemplo de cooperação internacional envolvendo 13 países com o objetivo de dar o primeiro passo para a exploração do espaço pela humanidade. Para tanto, a NASA, em conjunto com parceiros comerciais e internacionais, irá estabelecer a presença na Lua, a qual dará suporte às missões para Marte.

Também merece destaque nesse contexto, as diversas redes de cooperação estabelecidas recentemente por médicos durante a pandemia do COVID-19, com a troca de experiências e, com efeito, auxiliando no tratamento de doenças até então desconhecidas pela humanidade.

O processo de cooperação científica e tecnológica cresce e tem auxiliado no desenvolvimento de uma série de inovações disruptivas, conforme será abordado a seguir, e se torna um tema estratégico para a vida em sociedade e distinção de poder entre países.

10.3 Convergência tecnológica

O avanço da inovação em produtos e serviços baseados na convergência tecnológica é outra tendência que integra competências de di-

1 International Space Station. Disponível em: https://www.nasa.gov/mission_pages/station/cooperation/index.html. Acesso em 10 de janeiro de 2022.

2 ITER. Disponível em: <https://www.iter.org/proj/inafewlines>. Acesso em 10 de janeiro de 2022.

3 Artemis. Disponível em: <https://www.nasa.gov/specials/artemis-accords/index.html>. Acesso em 10 de janeiro de 2022.

versas áreas do conhecimento. A maioria dos novos produtos e serviços, em especial os disruptivos, tem a conectividade e a interatividade como base, como, por exemplo, os carros autônomos e as *smart TV*.

A conectividade e a interatividade, conforme serão abordadas mais detalhadamente nos próximos capítulos, são forças tecnológicas que estão sendo cada vez mais integradas aos novos produtos e serviços. Essas forças influenciam umas às outras e criam um ambiente que possibilita o acesso ubíquo em alta velocidade a diversos produtos e serviços. Como exemplo, destaca-se os avanços e crescimento do uso da telemedicina, da educação à distância e do *home office*. Representam também o início das possibilidades de expansão do metaverso.

Muitos desses novos produtos terão como base o aumento dos processos de integração, ou seja, a fusão entre ciências físicas, químicas, biológicas, médicas e da computação, permitindo o avanço dos processos de transformação digital, a automação inteligente e a comunicação (conectividade), por exemplo. Tais campos serão a base dos avanços e da difusão de tecnologias disruptivas.

Os *experts* também apontam para a geração de soluções instantâneas por meio da transparência de dados e acesso ilimitado à capacidade de processamento e uso de inteligência artificial e demais tecnologias correlatas para solucionar as demandas de um mundo BANI⁴ (Pio; Marcial, 2021).

O crescimento dos programas de empresas globais que incentivam a busca do conhecimento e especialização em novas ferramentas tecnológicas, visando dar espaço para empreendedores sociais, ampliarão a entrada no mercado de trabalho de jovens carentes. Contudo, a aquisição e uso das novas tecnologias poderão enfrentar um processo de maior controle e regulamentação, devido ao aumento, pelos parlamentos globais, do controle sobre as grandes empresas tecnológicas, e suas respectivas tecnologias disruptivas, resultando em maiores exigências em relação à ética, equidade e justiça social, e questões religiosas (Pio; Marcial, 2021).

Outro exemplo de busca por conhecimento voltado para inovação refere-se ao crescimento do movimento de sistemas de inovação aberta em todo o mundo. A construção de ecossistemas que aumentam a capacidade de criação, com foco nas necessidades empresariais, por meio da troca de ideias, metodologias, conhecimento e tecnologias. Apesar de representar um movimento relativamente recente, iniciando

4 Acrônimo de Brittle, Anxious, Nonlinear, Incomprehensible.

nos anos 2000, ele vem crescendo por apresentar redução de custos no campo da pesquisa e desenvolvimento (Chesbrough et al., 2014).

Um exemplo do avanço da inovação aberta é *Open Invention Network*⁵ (OIN), maior comunidade mundial de não agressão de patentes. Essa rede é financiada pelo Google, IBM, NEC, Philips, Red Hat, Sony, SUSE e Toyota. Possui mais de 2,6 mil membros e mais de 1.300 patentes e aplicativos globais. A Microsoft passou a fazer parte dessa rede em 2018. No Brasil, há também movimentos nesse sentido como é o caso do Cubo Itaú⁶ que funciona como um ecossistema de inovação e empreendedorismo abrigando mais de 500 *startups* (destaca-se em 2019 abrigava cerca de 100 *startups*). Outro exemplo é a Oito⁷ o espaço de inovação aberta da Oi, que oferece um ambiente de criatividade e junta *startups*, empresas, especialistas e o meio acadêmico para colaboração e criação. Também no Brasil os 100 *Open Startups*⁸ mantém desde 2016 a publicação do *ranking* das empresas que mais praticam *open innovation*.

Nesse ambiente de aceleração do desenvolvimento tecnológico, impulsiona a economia da inovação, que vem sendo liderada pelos países desenvolvidos em função de sua robusta infraestrutura de ciência, tecnologia, inovação e de recursos humanos. Um dos indicadores dessa liderança é a classificação do Índice Global de Inovação (IGI). A Tabela 13.4 apresenta a pontuação dos 10 países com maior ranking (WIPO, 2021b).

Destaca-se as principais economias por região segundo o relatório do WIPO (2021b):

- Na América do Norte: Estados Unidos e Canadá.
- Na América Latina e Caribe: Chile, México e Costa Rica.
- Europa: Suíça, Suécia e Reino Unido.
- Norte da África e Ásia Ocidental: Israel, Emirados Árabes Unidos e Turquia.
- África Subsaariana: África do Sul, Quênia e República Unida da Tanzânia.
- Sudeste Asiático, Ásia Oriental e Oceania: República da Coreia; Singapura e China.
- Ásia Central e Ásia Meridional: Índia, Irã e Cazaquistão.

5 Disponível em: <https://openinventionnetwork.com/>.

6 Disponível em: <https://cubo.network/>.

7 Disponível em: <https://www.oito.net.br/>.

8 Disponível em: <https://www.openstartups.net/>.

Tabela 10.4 – Classificação do Índice Global de Inovação 2021 (IGI 2021)

Classificação do IGI	Economia	Pontuação
1	Suíça	65,5
2	Suécia	63,1
3	Estados Unidos	61,3
4	Reino Unido	59,8
5	República da Coreia	59,3
6	Holanda	58,6
7	Finlândia	58,4
8	Singapura	57,8
9	Dinamarca	57,3
10	Alemanha	57,3

Fonte: WIPO (2021b).

Observa-se também um panorama global de inovação em transformação. Esse panorama é liderado por um conjunto seletivo de economias de renda média, como China, Turquia, Vietnã, Índia e Filipinas. Em geral, as economias emergentes enfrentam dificuldades para melhorar consistentemente o desempenho em inovação. Somente um número limitado de economias de renda média conseguiu reduzir o atraso em inovação (WIPO, 2021b).

Apesar de todos os avanços, ainda permanece como incerteza se haverá eficácia dessa aceleração do desenvolvimento tecnológico até 2040. O questionamento sobre a eficácia desse processo pode ser justificada utilizando o exemplo encontrado no Capítulo 8, que aborda a manutenção do processo de urbanização em todo o mundo. Entretanto, sem um planejamento adequado, esse processo poderá causar uma série de problemas ambientais e de qualidade de vida na maioria dessas cidades. Outro exemplo refere-se ao crescimento da população mundial, conforme abordado no Capítulo 3, que impõe uma série de desafios que poderiam ser solucionados pela *ciência e tecnologia*. Entretanto, não podemos afirmar que os avanços tecnológicos ocorrerão a tempo de saná-los até 2040.

Também se discute a capacidade dos avanços tecnológicos de reduzir a pressão sobre os recursos naturais, bem como se serão capazes de resolver os problemas relacionados às questões ligadas às mudanças climáticas até 2040, promovendo uma adequada adaptação ou de mitigação de seus impactos.

Por fim, questões éticas são levantadas em diversas áreas do conhecimento. Elas se estendem desde a utilização de animais em pesquisas até questões relacionadas ao uso de células tronco e da inteligência artificial de forma indiscriminada. A questão aqui levantada é o quanto as questões éticas poderão retardar ou mesmo impedir o desenvolvimento tecnológico até 2040.

Além disso, os dados da evolução dos registros de patentes por região geográfica no mundo sugerem um aumento dos *gaps* tecnológicos e sociais até 2040. O crescimento exponencial do desenvolvimento tecnológico e a manutenção da dificuldade das populações de países periféricos de fornecerem educação e formação profissional adequados a esse movimento serão os principais geradores desse *gap*. Um dos motivos é o baixo grau de escolaridade desses países periféricos, conforme abordado no Capítulo 5 da Dimensão Sociodemográfica. Como consequência, espera-se o crescimento das desigualdades como resultado da incapacidade de absorção das massas trabalhadoras substituídas pelas tecnologias poupadoras de mão de obra – entre os Estados ditos centrais e periféricos. Pesquisa apresentada por Katz (2019) aborda esse *gap* associado ao mundo digital, área do conhecimento considerada atualmente chave para boa parte do desenvolvimento tecnológico futuro.

Segundo relatório das Nações Unidas (United Nations, 2021), a onda de mudanças tecnológicas pelas quais as nações passaram a partir da primeira revolução industrial fez com que, ao longo do tempo, aumentasse o *gap* tecnológico entre os países, dividindo o mundo entre os países detentores de tecnologia e os periféricos. Verifica-se que a cada onda de progresso, pelas quais se passa, aumenta a desigualdade entre países. Como consequência, entre 1820 e 2002, a desigualdade de renda global entre os países subiu de 28% para 85%.

O avanço da digitização e da conectividade combinados multiplicam seus impactos de distanciamento entre os países. Destaca-se 11 tecnologias que irão contribuir ainda mais com o aumento desse distanciamento entre países: inteligência artificial (IA), Internet das Coisas (IoT), *big data*, *blockchain*, impressora 3D, robótica, *drones*, edição genética, nanotecnologia, 5G, energia solar fotovoltaica (United Nations, 2021).

Hoje, há riscos de a automação, incluindo o avanço da IA, redu-

zir significativamente os postos de trabalho, aumentar a economia GIG⁹ com a redução dos direitos trabalhistas, de aumento da desigualdade, ampliando ainda mais as lacunas tecnológicas entre os países (United Nations, 2021).

Lista de sementes de futuro

- Aceleração exponencial do desenvolvimento tecnológico. (Tendência)
- Crescimento do número de pedidos e de concessão de patentes no mundo. (Tendência)
- Crescimento da convergência tecnológica. (Tendência)
- Crescimento do processo de cooperação científica e tecnológica. (Tendência)
- Avanço da inovação em produtos e serviços baseados na convergência tecnológica. (Tendência)
- Crescimento do movimento de sistemas de inovação aberta em todo o mundo. (Tendência)
- Haverá eficácia dessa aceleração do desenvolvimento tecnológico até 2040? (Incerteza)
- Até 2040, os avanços tecnológicos ocorrerão a tempo de sanar os desafios impostos pelo crescimento da população ao *meio ambiente*? (Incerteza)
- Os avanços tecnológicos conseguirão reduzir a pressão sobre os recursos naturais? (Incerteza)
- Até 2040, o desenvolvimento tecnológico promoverá uma adequada adaptação ou de mitigação dos impactos das mudanças climáticas? (Incerteza)
- Questões éticas poderão retardar ou mesmo impedir o desenvolvimento tecnológico até 2040? (Incerteza)
- Aumento dos *gaps* tecnológicos e sociais entre países até 2040. (Tendência)
- Manutenção da dificuldade das populações de países periféricos de fornecerem educação e formação profissional adequada à velocidade do desenvolvimento tecnológico. (Tendência)
- Crescimento das desigualdades como resultado da incapacidade de

⁹ Segundo o Dicionário de Cambridge, “gig economy” representa arranjos alternativos de emprego. “Uma forma de trabalho baseada em pessoas que têm empregos temporários ou fazem atividades de trabalho freelancer, pagas separadamente, em vez de trabalhar para um empregador fixo”.

absorção das massas trabalhadoras substituídas pelas tecnologias poupadoras de mão de obra – entre os Estados ditos centrais e periféricos. (Tendência)

Referências

CHESBROUGH, H.; VANHAVERBEKE, W.; WEST, J. *New Frontiers in Open Innovation*. London: Oxford University Press, 2014.

MARCIAL, E.C. et al. *Megatendências mundiais 2030: o que entidades e personalidades internacionais pensam sobre o futuro do mundo*. Brasília: Ipea, 2015.

MARCIAL, E.C. et al. *Megatendências mundiais 2040: resultados preliminares*. Relatório Técnico-Científico da Universidade Católica de Brasília (RTC-UCB). Brasília: Universidade Católica de Brasília, 2021.

PIO, M.; MARCIAL, E.C. et al. *Megatendências mundiais 2040: Dimensão Ciência e Tecnologia*. Relatório Técnico-Científico da Universidade Católica de Brasília (RTC-UCB). Brasília: Universidade Católica de Brasília, 2021.

WIPO. *World Intellectual Property Organization. World Intellectual Property Indicators* Geneva: WIPO, 2021a.

WIPO. *World Intellectual Property Organization. Índice Global de Inovação 2021: resumo executivo*. Geneva: WIPO, 2021b. Disponível em: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/pt/wipo_pub_gii_2021_exec.pdf. Acesso em: 11 jan. 2022.

KATZ, Yaron. *Technology, Society and the Digital Gap*, *Advances in Applied Sociology*, v. 9, p. 60-69, 2019. DOI: 10.4236/aasoci.2019.91005

UNITED NATIONS. *Technology and innovation report 2021: Catching technological waves*. Geneva: United Nations, 2021. Disponível em: https://unctad.org/system/files/official-document/tir2020_highlights-graphics_en.pdf. Acesso em: 11 jan. 2022.

Capítulo 11

Conectividade e transformação digital

Por Elaine C. Marcial¹ e João Tribouillet Marcial de Menezes²

1 Elaine C. Marcial, Doutorado em Ciência da Informação, especialista em estudos de futuro e inteligência competitiva, Professora do Mestrado na Universidade Católica de Brasília (UCB) e Coordenadora do Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos na Universidade Católica de Brasília (NEP-UCB).

2 João Tribouillet Marcial de Menezes é Engenheiro de Redes de Comunicação e sócio fundador da SocialPort.

Conectividade e transformação digital

Os temas conectividade, transformação digital e cibernéticas estão intrinsecamente conectados. Se por um lado o avanço da digitalização abriu espaço para o aumento da conectividade que, por sua vez, ampliou esse processo na sociedade, por outro lado ambas contribuíram com a ampliação da ocorrência dos crimes cibernéticos.

Juntamente com o avanço e aumento de complexidade das tecnologias associadas à automação 4.0 e digitalização, o crescimento ainda maior das possibilidades de conectividade é um caminho altamente natural, posto a interrelação entre os temas automação, digitalização e conectividade (Pio e Marcial, 2021). Destaca-se que a pandemia do COVID-19 acelerou esse movimento.

Olhando sobre a ótica de um mundo digital, tal movimento não é novo. Tem suas raízes no advento da computação da década de 1950, cuja base é a teoria matemática da comunicação, criada por Shannon e Weaver (1964), que suporta a comunicação moderna, impulsionada pela grande conectividade existente hoje. Conectividade e digitalização são movimentos que avançam de forma entrelaçada, transformando o mundo analógico e físico em um mundo digital altamente conectado.

Apesar de o processo de digitização da economia ter apresentado avanços significativos a partir das décadas de 1970 e 1980, com a chegada do microcomputador, o boom ocorre a partir dos anos 1990 com o advento da internet, que fortalece a conexão entre essas duas áreas. Analisado sob a ótica das mudanças da matriz energética, esse movimento foi chamado de terceira revolução industrial ou “Era da Informação” (1950-2010) (Schwab, 2016; Rifkin, 2012).

Entretanto, um novo boom no processo de digitização da economia ocorreu com o advento da pandemia do COVID-19, iniciada em final de 2019. Tal pandemia intensificou o uso da internet como plataforma de comunicação, ampliou a produção de dados digitais e da digitalização da produção, bem como da oferta de produtos e serviços digitais. Tal ambiente sofrerá nova revolução com a chegada da comu-

nicação 5G e a entrada do metaverso.¹

Destaca-se que a transformação digital impacta a sociedade em sua forma de pensar, comunicar e trabalhar. Gera a desmaterialização de nossos bens, tornando-os digitais e virtuais. Informações, fotos, vídeos, músicas, mensagens e dados, por exemplo, tornaram-se invisíveis e imateriais, estando disponíveis somente quando necessitamos deles (Belk, 2013). Objetos também se tornaram digitais, como é o caso da televisão, do relógio, da máquina fotográfica e do telefone. Até os bancos se tornaram digitais e estão disponíveis a qualquer hora, de qualquer lugar e na palma da mão. Esse novo mundo resulta no crescimento exponencial da produção de dados e informação digital, e esse volume irá aumentar ainda mais com a chegada da Internet das Coisas (IoT).

Até 2040, espera-se um forte aumento dessas áreas, chegando ao ponto de uma competição real entre os mundos real e digital, podendo gerar, inclusive, uma fusão dessas tecnologias com o ser humano. Nesse contexto, haverá experiências pessoais altamente personalizadas, sem diminuir a conveniência dos ambientes *online*, isto é, as experiências pessoais e digitais se tornando mais interligadas (Pio e Marcial, 2021).

Esse novo mundo vai também exigir perfis e competências profissionais diferentes das exigidas no mundo físico, levando as organizações a demandarem profissionais que detenham novos conhecimentos, habilidade e atitudes para lidar com os desafios do ambiente digital.

Quanto à conectividade, o desenvolvimento de novas tecnologias para diversificar e aumentar as formas de conexão e comunicação entre as populações, sofrerá um considerável aumento de velocidade. Como consequência natural do desenvolvimento mais intenso do “mundo digital” espera-se um forte crescimento do uso das estratégias baseadas no Data Capitalism² por parte das empresas e organizações, sejam privadas ou públicas. Além disso, espera-se que até 2040 ocorra uma quebra dos padrões de compartilhamento de informações devido a

1 Metaverso refere-se a um ambiente virtual que possibilitará a vivência de experiências digitais 3D em tempo real por meio de avatares e recursos exclusivamente digitais em locais criados unicamente em um universo *online* que passam um senso de presença individual. O conceito surgiu no livro de ficção científica *Snow Crash*, de Neal Stephenson, em 1992.

2 O Data Capitalism representa um gênero do capitalismo no qual os dados são a fonte de monetização e muitas vezes a moeda e o valor final. A metodologia para processar dados em massa chama-se *data science*, que envolve *big data* e *analytics*. Tem sua origem nas tecnologias de rastreamento e vigilância comercial desenvolvidas pelo setor privado. Adaptado de West (2019) e Chandler e Fuchs (2019).

iniciativas como o “Blue Dot Net”³ e “XiNet”⁴.

11.1 As TIC continuarão modificando a natureza do trabalho, a estrutura de produção, de educação e de relação entre as pessoas e lazer

Marcial et. al., (2015) afirmaram que as tecnologias da informação e comunicação (TIC) revolucionaram a segunda metade do século XX. Entretanto, essas transformações somente serviram como base para a real revolução que ocorrerá durante o século XXI. As TIC mudarão a natureza do trabalho, revolucionarão a estrutura de produção em todos os setores da economia e da educação, alterarão ainda mais as relações entre as pessoas e a forma como utilizamos os horários de lazer até 2040, alterando significativamente o ambiente em que vivemos.

A natureza do trabalho e a estrutura de produção vêm se modificando rapidamente desde o surgimento das TIC e passarão por mudanças ainda maiores até 2040. Tanto o setor industrial quanto de serviços, que eram intensivos em mão de obra, serão cada vez mais automatizados e muitas de suas atividades realizadas cada vez mais a distância, reduzindo o volume de mão de obra e mudando seu perfil. Muitas profissões serão extintas, entretanto novas também ganharão força ou surgirão em função dos avanços das TIC, sendo elas as ligadas ao *marketing* digital, aos especialistas de *big data* e *data science* e aos que irão monitorar as ações de robôs e *drones* ou o fluxo de carros autônomos por exemplo.

O *home office* e a videoconferência são frutos dessas tecnologias que revolucionam o mercado de trabalho e a natureza do trabalho, especialmente após o evento da pandemia do COVID-19. Diversos *softwares* de videoconferência se popularizaram durante a pandemia, inclusive aproximando familiares que ficaram isolados. Mesmo com o retorno do trabalho presencial, espera-se o crescimento do *home office* e de atividades mistas, bem como o crescimento do uso de videoconferências em especial entre pessoas que trabalham em localidades diferentes.

3 A Rede Blue Dot visa promover investimentos em infraestrutura de qualidade que sejam abertos e inclusivos, transparentes, economicamente viáveis, alinhados ao Acordo de Paris, financeiramente, ambientalmente e socialmente sustentáveis e em conformidade com os padrões, leis e regulamentos internacionais. Disponível em: <https://www.state.gov/blue-dot-network/>.

4 O Xinet é um poderoso Sistema de Gerenciamento de Ativos Digitais (DAM) e oferece às empresas uma maneira eficiente de organizar, colaborar e distribuir seus ativos de mídia avançada. Disponível em: <http://www.northplains.com/Xinet/>.

A expectativa é de que o trabalho híbrido permanecerá, incluindo o uso de novas tecnologias para a realização de reuniões virtuais como hologramas ou o metaverso. Como exemplo, nos Estados Unidos, apesar de o número de trabalhadores a distância cair com a retomada da normalidade, projeta-se que cerca de 20% da força de trabalho permaneça trabalhando em casa pós-COVID.⁵

No campo da educação, o ensino à distância cresceu significativamente durante a pandemia. Mesmo com o retorno das aulas presenciais, espera-se o crescimento do ensino a distância em todo o mundo, por facilitar o acesso ao conhecimento de qualidade. Atividades mistas também devem crescer, conjugando atividades presenciais e a distância. Plataformas de ensino à distância serão cada vez mais utilizadas na interação entre professor-aluno e aluno-aluno, como veículo de compartilhamento de conhecimento e informações e como apoio à gestão do processo ensino-aprendizado.

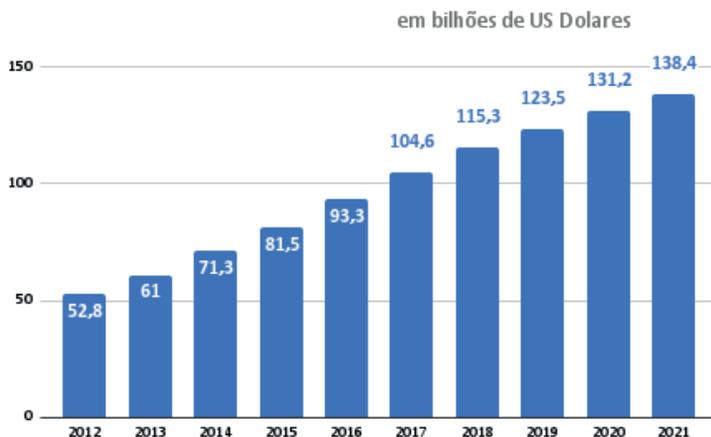
As TIC permanecerão alterando as relações entre as pessoas e o lazer, até 2040. Essa tendência pode ser observada no crescimento do mercado de vídeo *games* no mundo (Figura 11.1) e deverá ainda ser ampliado com a entrada do metaverso, com o aumento da oferta de jogos em realidade virtual e aumentada.

Outro exemplo refere-se ao uso dos aparelhos celulares. Em fevereiro de 2022 existiam 6,6 bilhões de *smartphones* ativos no mundo, com expectativa de chegar a 7,5 bilhões em 2026. Países como China, Índia, EUA, Brasil e Rússia são os que têm mais telefones celulares ativos.⁶ Diante disso, será mantido o crescimento da comunicação sem fio, incluindo as redes de longa distância para acesso a telefonia móvel, a internet, *smart TV* e outras opções de entretenimento.

5 The Great Office Refusal, out./2021. Disponível em: <https://www.tabletmag.com/sections/news/articles/great-office-refusal-joel-kotkin>. Acesso em 2 set. 2022.

6 Bankmycell. Disponível em: <https://www.bankmycell.com/blog/how-many-phones-are-in-the-world#:~:text=In%202022%2C%20the%20number%20of,91.62%25%20of%20the%20world's%20population>. Acesso em: 02 set. 2022.

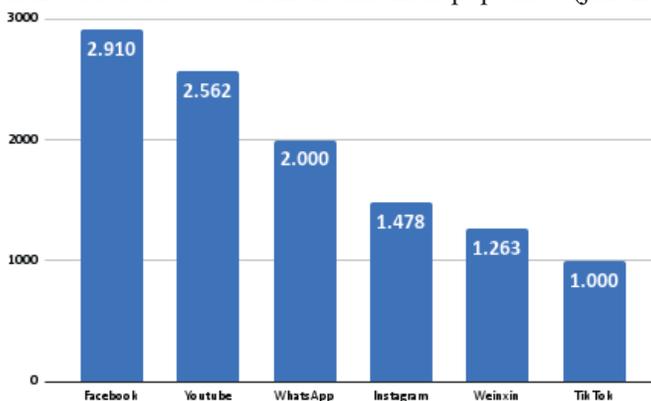
Figura 11.1 – Valor do mercado global de videogame de 2012 a 2021



Fonte: Statista (2022).⁷

Observa-se também um crescimento no uso de redes sociais. O Facebook lidera as redes sociais em número de usuários, contendo quase o dobro da quarta maior, segundo levantamento da Statista (2022) – Figura 11.2.

Figura 11.2 – As redes sociais mundiais mais populares (jan./2022)



Fonte: Statista (2022).⁸

⁷ Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/246888/value-of-the-global-video-game-market/>. Acesso em: 02 set. 2022.

⁸ Disponível em: (<https://www.statista.com/statistics/272014/global-social-networks-ranked-by-number-of-users/>). Acesso 02 set. 2022.

Destaca-se que o tempo médio diário de conexão, no mundo, é de duas horas e meia, sendo que países como Brasil esse número chega a 10 horas diárias. Em média, o tempo que os internautas, no mundo, passam conectados é de 7 horas diárias.⁹ Passaremos cada vez mais tempo conectados visto que é esperado a ampliação da oferta de serviços de conexão, o aumento do número de pessoas conectadas e o aumento da velocidade de conexão com a chegada da tecnologia 5G. Espera-se também a ampliação de novos usos da internet e da oferta de serviços via internet.

Soma-se a isso o crescimento dos investimentos no domínio de tecnologias de comunicação por rádio frequência e lançamento de satélites (Pio e Marcial, 2021).

As tecnologias de circuitos integrados (IC) de baixa potência e tecnologias de radiofrequência (RF) evoluíram rapidamente fruto do aumento do uso de dispositivos móveis e da Internet das Coisas (IoT). As várias tecnologias de radiofrequência, como Wi-Fi HaLow, LoRa (longo alcance) e o 5G surgiram para atender à crescente demanda por comunicação de dados. Outras tecnologias, como *beamforming*,¹⁰ estão ganhando força ao permitir uma comunicação 5G eficiente.¹¹

Cabe aqui destacar que, se por um lado a chegada do 5G,¹² proporcionará diversas vantagens – como por exemplo a conexão de objetos inteligentes, viabilizando a IoT para uso cotidiano, os prédios e cidades inteligentes, os carros autônomos, bem como a realização de cirurgias a distância – por outro trará grandes desafios no campo da cibersegurança.

9 NOVA EDIÇÃO DO GLOBAL DIGITAL REPORT MAPEIA HÁBITOS DOS INTERNAUTAS. Disponível em: <https://www.linka.com.br/analytics/relatorio-global-do-digital-2021>. Acesso em: 02 set. 2022.

10 Beamforming é uma tecnologia presente em roteadores Wi-Fi que promete melhorar o alcance da rede. O sinal é direcionado para dispositivos específicos, mesmo que eles estejam mais distantes do que o roteador poderia alcançar. Disponível em: <https://bit.ly/37PFkaN>. Acesso em: 20 mar. 2022

11 Emerging Growth Opportunities for Low-Power Integrated Circuits and Radio Frequency Technologies 2022: advancements in Low-Power ICs Lead to Efficient Battery Management in IoT Devices. Jan. 2022. Disponível em: <https://bit.ly/3qhfYSY>. Acesso em: 20 mar. 2022.

12 5G próxima geração das redes móveis. Representa uma tecnologia que permite uma conexão móvel com mais velocidade para downloads e uploads, cobertura mais ampla e conexões mais estáveis.

11.2 Metaverso e o mundo cada vez mais digital

O mundo tende a se tornar cada vez mais virtual, não somente em função do aumento do mundo digital e do avanço da internet e do *streams*, mas pela chegada do metaverso. Apesar de não ser referir a um conceito novo, o debate sobre o metaverso se tornou popular quando em 2021 Mark Zuckerberg muda o nome de sua empresa para Meta e afirma que o futuro estará no metaverso.¹³

O metaverso representa um ambiente virtual imersivo de hiper-realidade em 3D, onde as pessoas poderão se encontrar, utilizando avatares, customizando espaços de acordo com as necessidades de cada um ou de um grupo. Mescla a realidade virtual com a realidade aumentada em aplicações conectadas à internet, passando a sensação de vivência real em um espaço virtual. Por meio do uso de óculos de realidade virtual, a nossa percepção de realidade é transferida para o espaço virtual criado.¹⁴

Sua promessa é de alterar os nossos ambientes de trabalho, como fazemos compras, a forma como nos relacionamos com as pessoas, aprendemos e usamos nossos horários de lazer, em especial se temos como *hobby* os *games*. A ubiquidade estará mais presente em nossas vidas em ambientes criados no metaverso. Belk (2013) já sinalizada a desmaterialização, tornando o mundo cada vez mais digital e virtual e a chegada de um “eu” estendido, momento em que as restrições de nossos corpos físicos iriam desaparecer e estar em vários locais ao mesmo tempo, podemos ser qualquer pessoa, com a criação de “avatares” – no mundo on line, pode-se apresentar uma multiplicidade de “eus”. Com a chegada do metaverso essas visões poderão se tornar realidade.

O Facebook, atual Meta, não é a única empresa investindo no metaverso. Nessa corrida pelo futuro encontram-se empresas como Microsoft, Alphabet, Apple, Baidu, as empresas de *games* com a Epic Games e a Nvidia, Tencent, Roblox dentre outras. Entretanto, não são somente as empresas de tecnologias da informação e comunicação que investem nesse tipo de ambiente, outras empresas com a Nike, a Adidas, Prada, Farfetch Gucci, Vans, Ralph Lauren, Burberry, Louis Vuitton, Rolex e a Disney também estão investindo em seus respectivos

13 Meta: Mark Zuckerberg announces Facebook’s new name. Everything Facebook revealed about the Metaverse in 11 minutes. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=gElfIo6uw4g>. Acesso em 9 mar. 2022.

14 Metaverso: o que é e como funciona? Dez./2021. Disponível em: <https://bit.ly/3sUKI4c>. Acesso em: 9 mar. 2022.

ambientes virtuais.¹⁵ Esse movimento sinaliza ser somente o começo, e espera-se o crescimento do surgimento de novos entrantes ofertando soluções no metaverso, bem como do crescimento dos investimentos nessa área. Em junho de 2021, o Roundhill Investments e a Matthew Ball lançaram o metaverse investment fund, que abriga várias empresas que estão investindo nessa área (Wunderman Thompson, 2021).

As interações *online* e *offline* não serão mais experiências separadas, mas com maior regulação dos conteúdos *online*. A jornada do cliente será feita de elementos pessoais e digitais que são integrados e intencionalmente projetados para criar uma experiência de marca perfeita que é adaptada para se adequar aos comportamentos, atitudes e preferências individuais do cliente (Pio e Marcial, 2021).

Segundo a Bloomberg Intelligence,¹⁶ o metaverso caracteriza-se como a próxima grande plataforma tecnológica, que abarca a evolução da internet associada a das redes sociais, e vislumbra um mercado próximo a US\$ 800 bilhões em 2024. Em 2020, já contou com receitas globais da ordem de US\$ 500 bilhões, apresentando uma taxa anual média de crescimento de 13,1%.

De qualquer forma o metaverso ainda pode ser considerado como um fato portador de futuro, e concentra grandes incertezas em relação ao seu desenvolvimento futuro e impactos na sociedade, apesar de abrir um leque grande de possibilidades em todos os campos do conhecimento.

11.3 Os impactos da internet e do avanço da Internet das Coisas

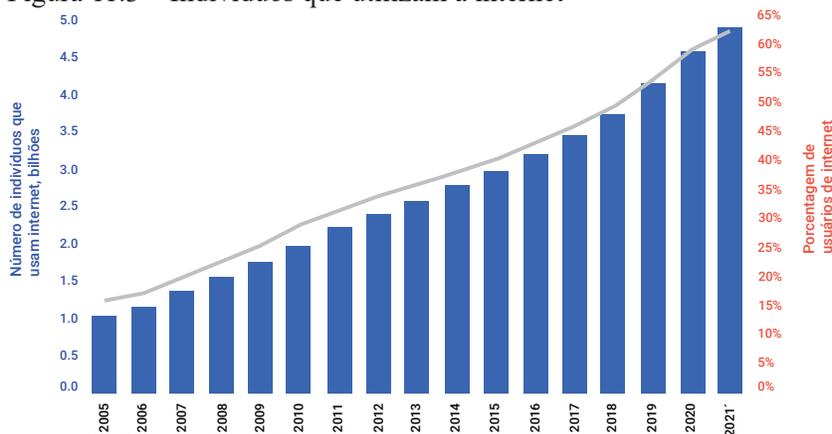
A internet avança desde a sua criação, gerando um ambiente aberto de oportunidades para todos que têm acesso. Com o advento do COVID-19, seu uso passou a ser vital no desenvolvimento de diversas atividades. Segundo dados do relatório ITU (2021), em 2019 cerca de 4,1 bilhões de pessoas (54% da população mundial) acessaram a internet, chegando em 2021 com a marca de 4,9 bilhões de pessoas (63% da população mundial – Figura 11.3). Por outro lado, esses dados nos sinalizam que 2,9 bilhões de pessoas ainda permanecem *offline*, dessas 96%

15 Além do Facebook: as maiores empresas do mundo estão investindo no metaverso; veja como se juntar à Nike, Adidas, Disney, Microsoft e buscar lucros expressivos com esta nova tecnologia. Dez./2021. Acesso em: <https://bit.ly/3KxBNeW>. Acesso em: 9 mar. 2022.

16 Metaverse may be \$800 billion *market*, next tech platform. Dez. 2021. Disponível em: <https://bloom.bg/3MBKSoT>. Acesso em: 9 mar. 2022.

vivem nos países em desenvolvimento. Segundo Marcial et al. (2015), a expectativa era de que até 2030, cerca da metade da população mundial teria acesso à internet.¹⁷ Entretanto, essa estimativa foi superada em 2021, momento em que 63% da população mundial já possuía acesso à internet. Espera-se que, por volta de 2050, ter-se-á 90% da população mundial com acesso à internet.

Figura 11.3 – Indivíduos que utilizam a internet



Fonte: ITU Report (ITI, 2021).

Com o barateamento dos custos dos sensores, espera-se sua difusão por diversos segmentos econômicos e setores produtivos pelo mundo. Estima-se que em 2030 existirão cerca de 25,44 bilhões de dispositivos conectados, segundo a Statista.¹⁸ Poderemos chegar ao ponto de que cada indivíduo terá cerca de 1.000 dispositivos conectados à internet até 2040.¹⁹ Isso significa que haverá um crescimento significativo da Internet das Coisas (IoT) nos próximos anos, com carros, eletrodomésticos, acessórios, roupas dentre outros objetos conectados e gerando informação.

17 Universal internet access unlikely until at least 2050, *experts say*. Disponível em: <https://www.theguardian.com/technology/2019/jan/10/universal-internet-access-unlikely-until-2050-experts-say-lack-skills-investment-slow-growth>. Acesso em: 14 mar. 2022.

18 Number of Internet of Things (IoT) connected devices worldwide from 2019 to 2030. Disponível em <https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/>. Acesso em: 08 mar.2022.

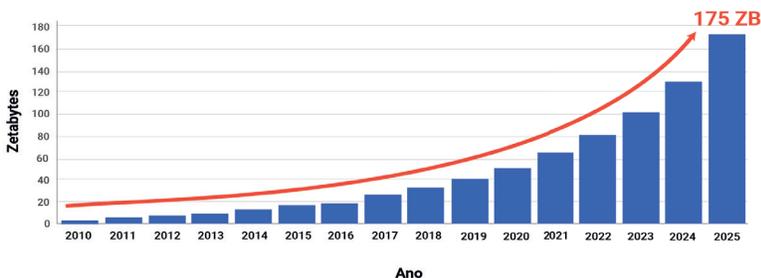
19 SoftBank CEO: the average person will have 1,000 internet-connected devices by 2040. Disponível em: <https://www.techinasia.com/softbank-son-iot-1000-devices-2040>. Acesso em: 08 mar.2022.

Esse movimento aumentará a conectividade mundial além do volume de dados circulando pela internet.

Nesse contexto, espera-se um crescimento exponencial do volume de dados digitais. Estimativas realizadas com base no estudo do Reinsel et al. (2018) (Figura 11.4), quando o total era de 33 zettabytes em 2018, indica que chegaremos a 2030, com mais de 500 zettabytes de dados no mundo, quase 10 vezes mais do que o existente em 2020.

Já em 2050, o valor esperado varia entre 50 e 500 mil zettabytes, representando de 1.000 a 10.000 vezes mais do que tínhamos em 2020.²⁰

Figura 11.4 – Evolução do volume de informação digital até 2025



Fonte: Data Age 2025, sponsored by Seagate with data from IDC Global DataSphere, Nov 2018. (Reinsel et al., 2018).

Segundo Arne Holst (2021), a quantidade total de dados esperados para 2020 já superou o estimado de 64,2 zettabytes, em função do aumento da demanda resultante da pandemia de COVID-19, atingindo um novo recorde. O fenômeno está associado ao aumento do trabalho remoto, do ensino a distância, do uso de opções de entretenimento doméstico e o aumento da digitalização da produção durante a pandemia. Com a efetiva chegada da Internet das Coisas (IoT), esse volume crescerá ainda mais rápido.

Para 2040, espera-se uma natural ampliação do acesso à internet, redes WIFI²¹ públicas em espaços e equipamentos públicos acessíveis a todos inclusive em regiões afastadas, e o crescimento do processo de fragmentação da internet (Splinternet) (Pio e Marcial, 2021).

20 The Future Of Good Data – What You Should Know Now! Disponível em: <https://towardsdatascience.com/the-future-of-good-data-what-you-should-know-now-f2a-312a0e469>. Acesso em: 8 mar. 2022.

21 Wi-fi é a abreviação da expressão “*wireless fidelity*”, ou fidelidade sem fio.

A splinternet, ou internet fragmentada, refere-se ao processo de divisão da internet em sub redes por motivos diversos (tecnológicos, políticos, econômicos, religiosos, comerciais dentre outros). Por razões políticas, a China criou o chamado de “Grande Firewall”²² e a Rússia promulgou a Lei da Internet Soberana, criando uma rede própria em seu território nacional.²³ Após o início da guerra com a Ucrânia esse processo se intensificou na Rússia.²⁴ Nos Estados Unidos (EUA) há debates sobre a possível criação de um firewall para proteger a privacidade dos americanos.²⁵

Outro campo da internet que apresentará grande destaque nas próximas décadas está associado ao aumento intensivo do uso da Internet das Coisas (IoT) e da Internet Industrial das Coisas (IIoT), em especial com a chegada e expansão da tecnologia 5G (Pio e Marcial, 2021).

Internet das Coisas (IoT)

Internet das Coisas (IoT) refere-se à conectividade entre objetos físicos em rede, por meio da incorporação de sensores, *software* e outras tecnologias, como *CLOUD computing*, *big data*, *data analytics* e tecnologias móveis, de forma a viabilizar a gravação, coleta, monitoramento e o compartilhamento de dados com outros dispositivos e sistemas pela internet, sem a interação humana. Esses objetos portadores de sensores e dispositivos eletrônicos embarcados tornam-se responsivos ao tráfego de dados e informações, ou seja, respondem e agem, conforme os eventos ocorrem ao longo do tempo. Um *software* analisa esses

22 China’s ‘splinternet’ will create a state-controlled alternative cyberspace. jun. 2021. Disponível em: <https://www.theguardian.com/global-development/2021/jun/03/chinas-splinternet-blockchain-state-control-of-cyberspace>. The Rise And Impact Of The Splinternet. Mar. 2021. Disponível em: <https://analyticsindiamag.com/the-rise-and-impact-of-the-splinternet/>. Acesso em: 20 mar. 2022.

23 Russia just brought in a law to try to disconnect its internet from the rest of the world. CNBC, nov. 2019. Disponível em: <https://www.cnn.com/2019/11/01/russia-controversial-sovereign-internet-law-goes-into-force.html>. Acesso em: 20 mar. 2022. Russia: Growing Internet Isolation, Control, Censorship. Jun. 2020. <https://www.hrw.org/news/2020/06/18/russia-growing-internet-isolation-control-censorship>. Acesso em: 20 mar. 2022.

24 The splinternet in pictures: What the internet looks like for Russians right now. Mar. 2022. Disponível em: <https://www.businessinsider.com/splinternet-in-pictures-what-russian-internet-looks-like-right-now-2022-3>. Acesso em: 20 mar. 2022.

25 Splinternet: the inexorable dislocation of the Internet? Jan. 2022. Disponível em: <https://incyber.fr/en/splinternet-the-inexorable-dislocation-of-the-internet/>. Acesso em: 20 mar. 2022

dados aplicando regras predefinidas do que fazer, ou atribui a alguém a tomada de decisão sobre esses dados.²⁶

A ideia da IoT não é nova. Entretanto, foram os avanços recentes que permitiram seu desenvolvimento, como o acesso a tecnologias de sensores de baixo custo e baixa potência, a melhoria da conectividade, o avanço do *CLOUD computing* distribuída, a *edge computing*, os avanços em *Machine Learnig* e análise avançada de dados, e da inteligência artificial conversacional em linguagem natural. Sua ampla utilização ocorrerá com o advento da comunicação 5G, que suportará a comunicação de uma grande quantidade de dispositivos conectados à internet transferindo volumes gigantescos de dados.

Os investimentos em *edge computing*,²⁷ também conhecido como computação de borda, devem crescer fortalecendo as soluções no campo de IoT e permitindo o surgimento de novos tipos de negócios. HPE, Dell e IBM destacam-se como grandes investidores nessa área.²⁸ Isso porque a internet não se caracteriza como uma infraestrutura adequada para o desenvolvimento da IoT, pois requer muita largura de banda, e os custos acabam sendo altos. Com o avanço da IoT haverá também o crescimento dos investimentos em computação “*em nuvem*” (*CLOUD computing*). Além dessa modalidade, espera-se, também, o crescimento dos investimentos em computação “*em nuvem*” distribuída,²⁹ classificada como outra tendência que impactará o avanço da IoT. AWS Outposts, Microsoft Azure Stack e Google Anthos, líderes nesta área, realizam grandes investimentos na área sinalizando seu crescimento.

A IoT fornecerá soluções e proporcionará avanços em diversas áreas, seja na oferta de serviços públicos ou de segurança em geral em

26 O que é IoT? Disponível em: <https://www.oracle.com/br/internet-of-things/what-is-iot/>. Acesso em 19 mar. 2022

27 A computação de borda (*edge computing*) é um paradigma de computação distribuída que aproxima a computação e o armazenamento de dados das fontes de dados. Espera-se que isso melhore os tempos de resposta e economize largura de banda. Cabe destacar que *edge computing* e IoT não são sinônimos. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Edge_computing. Acesso em: 19 mar. 2022.

28 As maiores tendências da IoT para 2021. abr. 2021. Disponível em: <https://www.fibracem.com/as-maiores-tendencias-da-iot-para-2021/>. Aceso em: 19 mar. 2022.

29 A computação “*em nuvem*” distribuída permite que os dados estejam distribuídos em data centers localizados em qualquer lugar; eliminando os desafios organizacionais relacionados à conformidade e atrasos de dados. As maiores tendências da IoT para 2021. abr. 2021. Disponível em: <https://www.fibracem.com/as-maiores-tendencias-da-iot-para-2021/>. Aceso em: 19 mar. 2022.

todos os setores econômicos, seja na gestão de cidades inteligentes e em soluções nas áreas de saúde, medicina e educação, bem como permitindo o avanço do carro autônomo. Também fornecerá soluções para o setor de transporte e logística, para a agricultura, bancos, indústria e o varejo. Ela estará em todos os lugares, capturando dados e fornecendo informação para a tomada de decisão, seja ela humana ou não.

A IoT industrial (IIoT) refere-se à aplicação da tecnologia IoT em ambientes industriais, especialmente no que diz respeito à instrumentação e controle de sensores e dispositivos que envolvem tecnologias de nuvem. Seus principais usos são: fabricação inteligente; ativos conectados e manutenção preventiva e preditiva; redes inteligentes de energia; logística conectada; e cadeias de suprimentos digitais inteligentes. Espera-se o crescimento dos investimentos em internet industrial das coisas (IIoT) em função do aumento de produtividade esperado.³⁰ Espera-se a otimização de etapas como controle de estoque e logística, bem como uma redução dos acidentes de trabalho nas indústrias de base. Será possível medir, em tempo real, a produtividade das máquinas e indicar quais setores da planta precisam de mais equipamentos e suprimentos, por exemplo. A partir dos dados coletados nos dispositivos e sensores é possível também extrair *insights* que vão identificar gargalos, melhorar as ações de manutenção, reduzir erro e retrabalho e otimizar o estoque de todos os envolvidos na cadeia.³¹

A IoT promete revolucionar a indústria automobilística e a mobilidade urbana, a começar por sua relação com o cliente, que praticamente era rompida com a saída do carro da concessionária. A IoT além de propiciar um contato permanente com o cliente, ao fornecer atualizações periódicas dos *softwares* embarcados no veículo, poderá criar um novo modelo de negócio no qual as montadoras poderão oferecer serviços de transporte com o uso de carros autônomos. Apesar de ainda ser um fato portador de futuro, os carros autônomos prometem reduzir drasticamente o número de acidentes e melhorar o tráfego de automóveis nas cidades, sem contar que possibilitará que seu dono o dirija remotamente. Destaca-se que há carros que já entraram na era da IoT, ao fornecer serviços de pagamento de pedágios ou estacionamento por meio de tags inteligentes, recebem e fornecem informações sobre necessidade de manutenção, segurança e sugerem melhores rotas.

30 O que é IoT? Disponível em: <https://www.oracle.com/br/internet-of-things/what-is-iiot/>. Acesso em: 19 mar. 2022.

31 As principais tendências de IoT para um futuro próximo. Ago. 2019. Disponível em: <https://bit.ly/37K1JGm>. Acesso em 19 mar. 2022.

Frotas de carros, caminhões, navios e trens que usufruem da IoT se beneficiam com informações de variações de temperatura que possam impactar a integridade de produtos transportados, ou ao serem redirecionados ao receberem informações das condições meteorológicas. Também já permitem o rastreamento da carga.

O crescimento do uso de diversos sensores conectados em redes nas cidades abrirá o caminho para as cidades inteligentes. A IoT nas cidades promete melhorar o trânsito e a gestão do transporte público, a coleta de lixo, o fornecimento de energia inteligente, a prevenção de enchentes, e a segurança nas cidades. Um exemplo é Songdo, cidade construída na Coreia do Sul com investimentos de mais de 40 bilhões de dólares.³²

As casas e prédios também estarão conectadas a redes IoT, fornecendo a possibilidade de sua gestão e controle à distância. Termostatos conectados a aparelhos de ar-condicionado manterão o ambiente na temperatura desejada das pessoas que usufruem daquele ambiente. Sensores de movimento irão fazer o gerenciamento da iluminação dos ambientes e câmeras de segurança e alarmes fornecem informação em tempo real de movimentos não programados. Esses são algumas das inúmeras utilizadas disponível pela IoT.³³

Um último exemplo do uso de IoT que irá gerar grande impacto será no setor de saúde. Nesse setor, espera-se a redução em 30% dos casos de doenças graves causadas por enfermidades crônicas como a diabetes e a pressão alta, por meio do uso de sensores conectados ao corpo humano que monitoram a saúde e fornecem informação e diagnósticos em tempo real. No futuro, a IoT permitirá um atendimento personalizado dos pacientes.³⁴ Atualmente, empresas como a FitBit, Apple, Garmin e Nike já oferecem produtos IoT que monitoram as atividades físicas, por meio do uso de pulseiras, relógios e outros produtos. Outro exemplo é a máscara NeuronOn, que avalia a qualidade do sono de uma

32 Tendências e o futuro da Internet das Coisas. Carolina Cozer out. 2019. Disponível em: <https://www.whow.com.br/tecnologia/tendencias-e-o-futuro-da-internet-das-coisas/>. Acesso em: 19 mar. 2022.

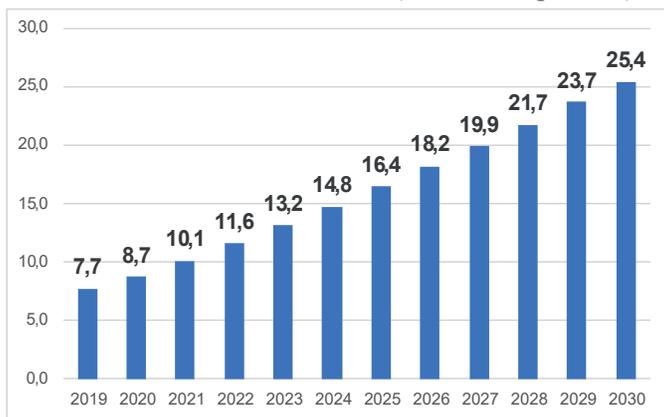
33 Tendências e o futuro da Internet das Coisas. Carolina Cozer out. 2019. Disponível em: <https://www.whow.com.br/tecnologia/tendencias-e-o-futuro-da-internet-das-coisas/>. Acesso em: 19 mar. 2022.

34 As principais tendências de IoT para um futuro próximo. Ago. 2019. Disponível em: <https://bit.ly/37K1JGm>. Acesso em 19 mar. 2022.

pessoa.³⁵

Dado o exposto, espera-se o crescimento do número de dispositivos conectados à internet (Figura 11.5). Neste mercado crescente, espera-se também o crescimento exponencial dos investimentos em IoT (Figura 11.6).

Figura 11.5 – Número de dispositivos conectados à Internet das Coisas (IoT) em todo o mundo de 2019 a 2030 (em bilhões por ano)



Fonte: Statista 2022.³⁶

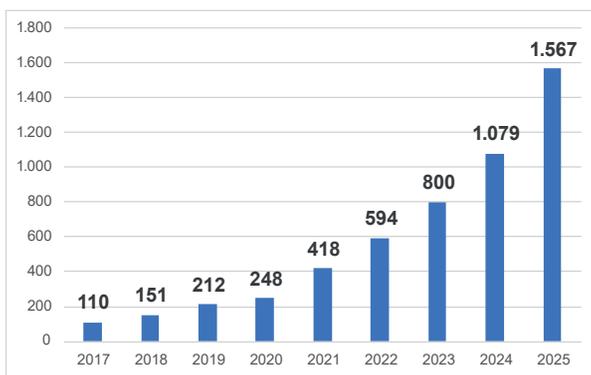
Entretanto, há questões ligadas à segurança que podem impedir o avanço rápido da IoT, em especial depois da chegada da tecnologia 5G, que viabilizará uma maior quantidade de dispositivos conectados à internet ao oferecer uma banda mais larga, com maior velocidade a um menor custo. A proliferação de dispositivos IoT sem a definição de protocolos padronizados de autorização e autenticação para os dispositivos, assim como regras claras de manutenção e substituição de equipamentos é uma vulnerabilidade existente hoje em dia. Tal vulnerabilidade abre espaço para o crescimento de ataques e espionagem cibernética. Nesse contexto, espera-se o crescimento dos investimentos

35 Tendências e o futuro da Internet das Coisas. Carolina Cozer out. 2019. Disponível em: <https://www.whow.com.br/tecnologia/tendencias-e-o-futuro-da-internet-das-coisas/>. Acesso em: 19 mar. 2022.

36 Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/>. Acesso em: 19 mar. 2022.

em segurança para IoT, em especial em criptografia.³⁷ Um dos desafios a ser enfrentado é a garantia da proteção dos dados que circulam em redes IoT, que deverá propiciar confiabilidade e confidencialidade desses dados nas diversas camadas existentes, desde o dispositivo até a *CLOUD*.³⁸ Entretanto, não se pode afirmar se até 2040, haverá segurança suficiente na rede que garanta o avanço da IoT.

Figura 11.6 – Previsão de gastos do usuário final em soluções de IoT em todo o mundo de 2017 a 2025 (em bilhões de dólares americanos por ano)



Fonte: Statista 2022.³⁹

11.4 *Big data* e a revolução do *analytics*

Outra área das TIC que já apresenta grande crescimento e terá uma maior importância e amplitude com a entrada efetiva da IoT é o *big data*, associado com os avanços em *analytics*, também chamado de *data science*. É o *data science* que viabiliza as aplicações de *big data* para extrair informação e *insights* de grandes volumes de dados, muitas vezes complexo. Suas aplicações são inúmeras passando por todas as áreas do conhecimento. Resultados já podem ser observados em áreas

37 Preocupações com a segurança. Disponível em: <https://www.infor.com/pt-br/news/o-que-o-futuro-reserva-para-iot>. Acesso em: 19 mar. 2022. As maiores tendências da IoT para 2021. abr. 2021. Disponível em: <https://www.fibracem.com/as-maiores-tendencias-da-iot-para-2021/>. Acesso em: 19 mar. 2022.

38 Tendências e o futuro da Internet das Coisas. Carolina Cozer out. 2019. Disponível em: <https://www.whow.com.br/tecnologia/tendencias-e-o-futuro-da-internet-das-coisas/>. Acesso em: 19 mar. 2022.

39 Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/976313/global-iot-market-size/>. Acesso em: 19 mar. 2022.

como as da biotecnologia, novos materiais, saúde incluindo o desenvolvimento de novos medicamentos, finanças, agricultura de precisão, gestão das cidades, relacionamento e atendimento aos clientes.

O crescimento da digitalização e da proliferação de novos sensores, da IoT e das redes sociais criou um ambiente para o desenvolvimento dessa área. A chegada do 5G ampliará essa transformação. Com o crescente volume de dados, como já destacado, deve-se então transformá-los em informação para apoiar o desenvolvimento científico, tecnológico e para a tomada de decisão seja das organizações públicas ou privadas.

É esperado a integração entre *big data*⁴⁰ e inteligência artificial, em especial na área de aprendizado de máquina, visto que os computadores terão a possibilidade de analisar grande quantidade de dados e chegar a conclusões sozinhos. A IoT será a grande geradora de *big data* e juntos possibilitarão a consolidação das casas e cidades inteligentes. Destaca-se que a chegada da computação quântica tem potencial para revolucionar o uso do *data science*⁴¹ e do *big data* ao apresentar soluções que viabilizem o processamento desse volume gigantesco de dados e as soluções de problemas complexos. Entretanto, os desafios no campo da segurança de dados aumentarão.

Estudo realizado pela International Data Corporation (IDC) em 2021 aponta que os gastos anuais globais com soluções de *big data* e *business analytics* no período de 2021-2025 serão de 12,8%. O esperado para 2021 foram investimentos seriam da ordem de US\$ 215.7 bilhões, cerca de 10% maiores que os de 2020.⁴²

11.5 A revolução causada pela computação quântica

Outra inovação tecnológica que proporcionará grandes avanços

40 *Big Data* descreve dados que apresentam volume, velocidade, variedade, veracidade e visualização significativos. Future Technology 2050 – How *Big Data* Emergence Will Change The World? Disponível em: <https://www.techmobi.in/future-technology-2050-how-big-data-emergence-will-change-the-world/>. Acesso em: 9 mar. 2022.

41 A ciência de dados combina métodos estatísticos, algoritmos computacionais e ciência da informação para extrair conhecimento e *insights* de grande quantidade de dados e solucionar problemas complexos do mundo real (tradução nossa). Disponível em: <https://hdr.mitpress.mit.edu/pub/kpn45eyx/release/1>. Acesso em: 9 mar. 2022.

42 Billion in 2021, According to a New IDC Spending Guide. Ago. 2021. Disponível em: <https://bwnews.pr/3I0M2qC>. Acesso em: 9 mar. 2022.

na área de TIC até 2040 refere-se à computação quântica,⁴³ que promete revolucionar a computação tanto no que diz respeito a velocidade e volume de processamento, quanto a execução de cálculos que ou são impossíveis ou muito demorados a serem realizados pelos métodos atuais. Um dos sinais de que tal tecnologia deslançará mais cedo do que o esperado é o salto de investimentos experimentado nos últimos dois anos (Figura 11.7). Nesse contexto, espera-se um crescimento dos investimentos em computação quântica.

Espera-se que, com a computação quântica, grande parte dos problemas complexos que os computadores tradicionais não resolvem serão solucionados. Além disso, proporcionará um processamento ultrarrápido de grandes volumes de informação, aceleração dos resultados de pesquisas e maior precisão. Entretanto, ela terá que superar alguns gargalos para se viabilizar comercialmente, como por exemplo a necessidade de proporcionar temperaturas extremamente baixas, próximas ao zero absoluto, para seu processamento.

A China e os Estados Unidos são os líderes na computação quântica, detendo o maior número de patentes nessa área. Entretanto, esse jogo pode mudar. Em 2021, na Alemanha, o Instituto Fraunhofer iniciou cooperação com a IBM no projeto do novo computador IBM Quantum System One. Em seguida, grandes nomes da indústria alemã anunciaram um consórcio cuja meta é testar aplicações industriais promissoras para a computação quântica. O consórcio Quantum Technology and Application Consortium (QUTAC) é formado pela BASF, o Grupo BMW, Boehringer Ingelheim, Bosch, Infineon, Merck, Munich Re, SAP, Siemens e Volkswagen.⁴⁴

Nos Estados Unidos, os projetos em computação quântica eram

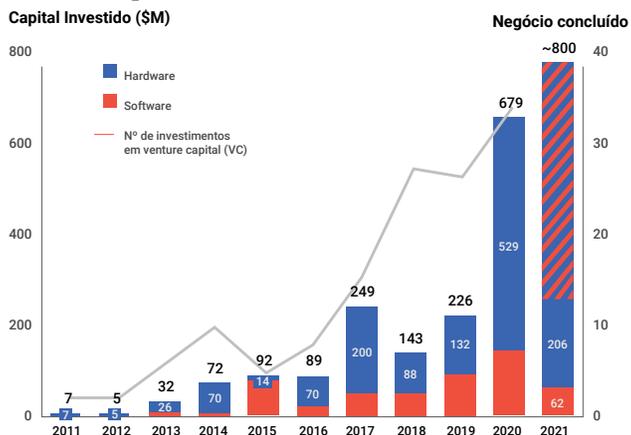
43 A computação quântica combina física quântica, ciência da computação e teoria da informação. A computação tradicional usa um sistema binário no qual o dado é armazenado em unidades chamadas bits (na forma de um ou zero). A computação quântica é diferente, usa o que é chamado de bits quânticos (qubits), que expandem os limites binários seguindo a lógica quântica, que permite a representação simultânea de diferentes estados, possibilitando a superposição, que possibilita a execução de cálculos simultâneos em velocidades mais altas e com menor consumo de energia, reduzindo do número de operações necessárias para a solução de problemas complexos (Quantum Computing and The Future of Big Data – <https://isg-one.com/articles/quantum-computing-and-the-future-of-big-data>) and “When Quantum Computation Meets Data Science: Making Data Science Quantum”. Disponível em: <https://hdr.mitpress.mit.edu/pub/kpn45eyx/release/1>. Acesso em 9 mar. 2022.

44 Computação quântica abre horizonte inovador para a Alemanha. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/computa%C3%A7%C3%A3o-qu%C3%A2ntica-abre-horizonte-inovador-para-alemanha/a-57927758>. Acesso em: 8 mar. 2022.

liderados por empresas como a IBM, a Intel, a Microsoft e a Alphabet. Entretanto, em 2021, a Amazon Web Services (AWS) inaugurou um centro de computação na Califórnia entrando nessa corrida pela supremacia quântica. Na China, destaca-se a Baidu e o Alibaba.

Uma das explicações para tal crescimento está associada ao fato de que a computação tradicional, que utilizamos atualmente, está atingindo seus limites e a crescente complexidade do mundo demanda novas soluções que a computação quântica promete resolver, em especial as associadas aos desafios do *big data* no futuro próximo.

Figura 11.7 – Mais de 2/3 dos investimentos em computação quântica foram realizados a partir de 2018



Fonte: PitchBook, BCG analysis.⁴⁵

De qualquer forma, ainda levará tempo para que os computadores que usamos atualmente sejam substituídos pelos computadores quânticos. Nesse contexto, não é possível afirmar se até 2040 a computação quântica estará disponível para sociedade, como é o caso do computador tradicional.

Síntese das sementes

- Transformação digital. (Tendência)
- Aumento das formas de conexão e comunicação entre as popula-

⁴⁵ What Happens When ‘If’ Turns to ‘When’ in Quantum Computing? Disponível em: <https://www.bcg.com/publications/2021/building-quantum-advantage>. Acesso em: 08 mar. 2022.

- ções sofrerá um considerável aumento de velocidade. (Tendência)
- Forte crescimento do uso das estratégias baseadas no Data Capitalism por parte das empresas e organizações, sejam privadas ou públicas. (Tendência)
 - Quebra dos padrões de compartilhamento de informações devido a iniciativas como o “Blue Dot Net” e “XiNet”. (Tendência)
 - As TIC continuarão modificando a natureza do trabalho, a estrutura de produção, de educação, de relação entre as pessoas e lazer. (Tendência)
 - Crescimento do *home office* e de atividades mistas. (Tendência)
 - Crescimento do uso de videoconferências em especial entre pessoas que trabalham em localidades diferentes. (Tendência)
 - Crescimento do ensino a distância em todo o mundo. (Tendência)
 - TIC permanecerão alterando as relações entre as pessoas e o lazer. (Tendência)
 - Crescimento da comunicação sem fio, incluindo as redes de longa distância para acesso a telefonia móvel, a internet, *smart TV* e outras opções de entretenimento. (Tendência)
 - crescimento no uso de redes sociais. (Tendência)
 - Aumento do número de pessoas conectadas. (Tendência)
 - Aumento da velocidade de conexão com a chegada da tecnologia 5G. (Tendência)
 - Ampliação de novos usos da internet e da oferta de serviços via internet. (Tendência)
 - Crescimento nos investimentos no domínio de tecnologias de comunicação por rádio frequência e lançamento de satélites. (Tendência)
 - O mundo tende a se tornar cada vez mais virtual. (Surpresa inevitável)
 - Chegada do metaverso. (Fato portador de futuro)
 - Surgimento de novos entrantes ofertando soluções no metaverso, bem como do crescimento dos investimentos nessa área. (Surpresa inevitável)
 - Alteração dos nossos ambientes de trabalho, como fazemos compras, a forma como nos relacionamos com as pessoas, aprendemos e usamos nossos horários de lazer, em especial se temos como *hobby* os *games*. (Surpresa inevitável)
 - A ubiquidade estará mais presente em nossas vidas. (Surpresa inevitável)
 - Metaverso como a próxima grande plataforma tecnológica. (Sur-

presa inevitável)

- Avanço da Internet das Coisas. (Tendência)
- Barateamento dos custos dos sensores. (Tendência)
- Crescimento significativo da Internet das Coisas (IoT) nos próximos anos. (Tendência)
- Crescimento exponencial do volume de dados digitais. (Tendência)
- Crescimento do processo de fragmentação da internet (Splinternet). (Tendência)
- Aumento intensivo do uso da Internet das Coisas (IoT) e da Internet Industrial das Coisas (IIoT). (Tendência)
- Os investimentos em *edge computing* devem crescer fortalecendo as soluções no campo de IoT. (Surpresa inevitável)
- Crescimento dos investimentos em computação “*em nuvem*” (*CLOUD computing*). (Tendência)
- Crescimento dos investimentos em computação “*em nuvem*” distribuída. (Surpresa inevitável)
- Crescimento dos investimentos em internet industrial das coisas (IIoT). (Tendência)
- Carros autônomos reduzem drasticamente o número de acidentes. (Surpresa inevitável)
- Crescimento do número de dispositivos conectados à internet. (Tendência)
- Crescimento exponencial dos investimentos em IoT. (Surpresa inevitável)
- Crescimento de ataques e espionagem cibernética. (Tendência)
- Crescimento dos investimentos em segurança para IoT, em especial em criptografia. (Tendência)
- Crescimento dos investimentos em *big data*, associado com os avanços em *analytics*. (Tendência)
- Integração entre *big data* e inteligência artificial, em especial na área de aprendizado de máquina. (Tendência)
- A IoT será a grande geradora de *big data* e juntos possibilitarão a consolidação das casas e cidades inteligentes. (Tendência)
- Chegada da computação quântica com potencial para revolucionar o uso do *data science* e do *big data*. (Tendência)
- Os desafios no campo da segurança de dados aumentarão. (Tendência)
- crescimento dos investimentos em computação quântica, revolucionando a computação. (Tendência)
- Crescente complexidade do mundo. (Tendência)

- Até 2040 a computação quântica estará disponível para sociedade? (Incerteza)

Referências

ITU – International Telecommunication Union (2021). Measuring digital development Facts and figures 2021. Geneve: ITU, 2021. Disponível em: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/FactsFigures2021.pdf>.

Reinsel, D.; Gantz, J.; Rydning, J. The digitization of the world: from *edge* to core. IDC White paper. Disponível em: <https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-dataage-whitepaper.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2022.

Wunderman Thompson. Into the metaverse: a report by Wunderman Thompson Intelligence. 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3vSr5Mj>. Acesso em: 9 mar. 2022.

HOLST, Arne . Amount of data created, consumed, and stored 2010-2025. Statista, jun. 2021. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created/>. Acesso em: 20 jul. 2021.

West, S.M. Data Capitalism: Redefining the Logics of Surveillance and *Privacy*. Business and Society, 58(1) 20-41, 2019. DOI: 10.1177/0007650317718185.

Chandler, D.; Fuchs, C. Digital Objects, Digital Subjects: Interdisciplinary perspectives on capitalism, labour and politics in the age of *big data*. London: University of Westminster Press, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3KUnKAz>. Acesso em 19 mar. 2022.

Capítulo 12

Transações e segurança cibernéticas

Por Henrique Cordeiro¹

¹ Henrique Cordeiro, mestrado em Governança, Tecnologia e Inovação (UCB), MBA em Gestão e Governança de TI, especialização em análise de sistemas. Assessor de TI no Banco do Brasil onde desenvolve *softwares* de gerenciamento de informações em apoio à gestão de TI e à tomada de decisão. Integrante do Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos na Universidade Católica de Brasília (NEP-UCB).

Transações e segurança cibernéticas

Este capítulo se baseia na pesquisa para identificação das sementes de futuro no campo da Ciência, Tecnologia e Inovação (Pio; Marcial, 2021). Nela, transações e segurança cibernéticas foi um dos temas apontados pelos expert consultados como um campo estratégico e em fase intensa de desenvolvimento. As respostas permitiram dividir o tema nos seguintes tópicos: (a) autenticidade, (b) privacidade, (c) crimes, terrorismo e guerras cibernéticas, (d) *blockchain* e criptomoedas, (e) *e-commerce* e (f) controle informacional. Aqui o estudo do tema busca identificar ao redor do mundo (a) as principais ações em curso, (b) as propostas apresentadas por instituições de alcance global e (c) tendências e incertezas 2040. Para a elaboração deste capítulo, três tópicos daquela pesquisa foram agrupados: (a) ‘autenticidade’ e ‘privacidade’ e (b) ‘privacidade’ e ‘controle informacional’. Isto foi feito devido à intercessão entre conceitos em alguns dos artigos revisados. Esta abordagem vem ao encontro do dia a dia das pessoas, no qual esses assuntos estão extremamente correlatos.

12.1 Autenticação e privacidade

A autenticidade de usuários que solicitam permissão para acesso e manipulação de dados é um dos pilares da segurança da informação. Os primeiros critérios usados para a validação da identidade foram as coisas que os usuários sabem (*logins* e senhas) e aquelas que eles têm (cartões ou *tokens*). A junção de ambos tem sido usada como um segundo fator de autenticação, na forma de códigos enviados a algo que o usuário possui, notadamente um *smartphone* ou e-mail e, presume-se, somente ele sabe no período em que o código é válido. A estes critérios se somam aqueles que se baseiam em quem ele é (identificações biométricas) e onde ele está (georreferenciamento), bem como os requisitos para validações de usuários não humanos: máquinas (Internet das Coisas), sistemas ou redes de ambos.

Sobre ‘Cibersegurança e privacidade’, o artigo de PwC (a, sem data) aborda tópicos tais como: (a) conquistar confiança, (b) promover resiliência, (c) viabilizar o negócio de forma segura, (d) simplificar a segurança cibernética e (e) serviços gerenciados de segurança entre ou-

tros. Conquistar a confiança dos usuários envolve esforços orientados à inovação, agregação de valor e manutenção da competitividade em todo o ecossistema de negócios. Promover a resiliência implica em se preparar para crises, responder e sair mais forte delas protegendo os ativos essenciais (próprios e das partes interessadas), o que se reflete na reputação da organização. Viabilizar o negócio de forma segura inclui ações em prol da confiança na própria segurança cibernética, se manter atualizado sobre as ameaças da transformação digital e a capacidade de aproveitar seus benefícios. A complexidade dos ecossistemas nesta era digital e a simplificação para gestão da segurança são tratados em diversos artigos correlatos.

Em um segundo relatório da PwC (2022b), a empresa sugere que “alguma complexidade é necessária e até desejável no atual contexto”, citando como exemplo a simplificação do nosso dia a dia proporcionada por um *smartphone*. Ao mesmo tempo alerta para complexidades nocivas (que não agregam valor) e revela a percepção de 75% dos altos executivos no mundo e de 77% dos brasileiros na pesquisa – “as organizações se tornaram complexas demais para serem protegidas”, dizem – preocupados com os riscos cibernéticos (em geral) e de privacidade que dificuldades desnecessárias e evitáveis podem causar. O relatório traz como boa notícia a percepção de que os investimentos continuam sendo direcionados para a segurança cibernética e recomenda simplificar para reduzir riscos cibernéticos.

A complexidade em questão é abordada em outro documento da PwC (2021c), no qual a complexidade necessária (aquela que agrega valor) é simplificada, por meio de (a) a diversidade de novos parceiros para dados, distribuição, *marketing* e inovação, (b) a necessidade de soluções rápidas e (c) restrições de arquiteturas tecnológicas preexistentes (uma lista certamente incompleta). Os benefícios da simplificação são grandes, mas as decisões nesta direção não são nada simples. Dentre as opções reiteradamente sugeridas por diversas fontes estão: (a) o uso de serviços gerenciados de segurança, ou seja, contratação de empresas especializadas em apoio às equipes internas de cada organização e (b) a contratação de serviços em nuvem. Ambas se promovem diante do gigantismo dos problemas, ao mesmo tempo em que acenam com a acessibilidade das soluções ofertadas mesmo às pequenas organizações.

Essas análises permitem identificar como tendências a ampliação de: (a) a complexidade tecnológica necessária, (b) o valor de mercado de ativos intangíveis, tais como confiança e reputação, (c) a atenção às relações custo x benefício da segurança cibernética (há riscos

necessários à competitividade, afinal), (d) o tratamento da segurança cibernética além das fronteiras da TI e (e) concentração de poder nas empresas prestadoras de serviços de segurança cibernética. Já a lista de incertezas inclui (a) novos critérios para autenticação (é simples imaginar *chips* implantados em pessoas, mero resgate de antigos filmes de ficção científica) e (b) os desdobramentos daquelas tendências, que se mostram seguras.

Das principais tendências no campo da autenticidade e privacidade pode-se destacar (Takaoka, 2020):

- Desenvolvimento de sistemas baseados em inteligência artificial (IA) mais seguros com foco em uma IA justificável e responsável. A IA tem sido fundamental na construção de sistemas de segurança automatizados, processamento de linguagem natural, identificação de rostos e detecção automática de ameaças.
- Crescimento do uso do Security Orchestration, Automation and Response (SOAR). Esta tecnologia de segurança se caracteriza por um conjunto de soluções que permite à organização coletar dados sobre ameaças à proteção de várias fontes e responder a eventos de segurança de baixo nível sem assistência humana.
- Aumento das ameaças devido à expansão do *CLOUD Computing* – À medida que a adesão aos serviços em *CLOUD* crescer, as organizações precisarão se atualizar de maneira adequada para se familiarizar com a alteração dos perfis de risco.
- Aumento da complexidade do gerenciamento de identidades e credenciais – A adoção contínua de infraestruturas híbridas e com várias nuvens aumenta o desafio de gerenciar o pacote crescente de identidades e credenciais associadas em qualquer organização. Recursos como autenticação federada, logon único e multifator adaptável compõem o desafio do equilíbrio entre segurança e usabilidade e o uso desses controles vêm se tornando prática necessária.
- Crescimento do uso de tecnologias sem senha. A mudança está sendo motivada pelo crescente número de casos em que credenciais e senhas privilegiadas são essenciais, mas difíceis de gerenciar de forma segura e *econômica*.
- Privacidade de dados como disciplina – Uma das principais tendências de segurança de dados é o aumento da privacidade como uma disciplina por si só. Os crescentes ataques cibernéticos de alto perfil têm levado à exposição de milhões de registros de informações de

identificação pessoal (PII). Isso, juntamente com a introdução de leis de dados mais rígidas em todo o mundo, como o GDPR¹ da União Europeia (EU), significa que a privacidade dos dados está sendo cada vez mais priorizada.

12.2 Crimes, terrorismo e guerras cibernéticas

O relatório BlackBerry (2021) examinou os maiores eventos de segurança cibernética de 2020 e os problemas que provavelmente teriam impacto em 2022. A análise inclui, entre outros: (a) como a COVID-19 mudou a segurança cibernética; (b) atividades de ameaças em 2020; (c) segurança durante as eleições nos Estados Unidos (EUA), (d) gestão de eventos críticos; (e) notícias, análises e *insights* gerais sobre segurança cibernética.

O relatório conclui que o caos gerado pela pandemia de COVID-19 exigiu o desenvolvimento e uso disruptivo de dispositivos novos e infraestruturas não testadas, criou oportunidades rapidamente exploradas por novas ameaças e induziu a evolução simultânea de soluções em segurança cibernética. A superexposição de informações pessoais em redes sociais ampliou a vulnerabilidade dos sistemas e abriu espaço para métodos mais sutis e refinados de ataques.

A lista de métodos de ataque inclui, mas não se limita a: (a) disseminação de notícias falsas; (b) furto de credenciais em sites populares; (c) aplicativos maliciosos em grandes lojas; (d) infecções de dispositivos em redes Wi-Fi; (e) *ransomware*² direcionados; (f) compartilhamento de informações de terceiros em troca de participações em lucros futuros; e (g) ataques de força bruta, contramedidas de segurança e sobre a Internet das Coisas, com destaque para os veículos automotivos conectados. A segurança cibernética se torna mais complexa a cada ano, contudo as bases para práticas de segurança robustas permanecem inalteradas: preparar, prevenir, detectar e responder.

No artigo da KPMG (e, 2021), a empresa apresenta a segurança cibernética como um dos pontos mais proeminentes do mundo corporativo atual e identifica uma relação cíclica: enquanto tecnologias e ferramentas disruptivas permitiram a continuidade de operações em períodos de restrições (pandemia), os ataques no ambiente virtual avan-

1 GDPR – General Data Protection Regulation, ou Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados.

2 Sequestro de dados e exigência de resgates.

çaram e aumentou a relevância de investimentos em tecnologia. A dependência tecnológica foi percebida, a ilusão de segurança foi dissipada e as empresas decidiram se preparar para o novo ambiente. O respaldo a estas percepções pode ser visto em um quadro comparativo apresentado na pesquisa Global CEO³ Outlook Pulse Survey (KPMG b, 2021), com os CEOs das empresas mais influentes do mundo. Enquanto em 2021 18% dos executivos apontaram a segurança cibernética como o principal risco para suas organizações, em 2020 essa preocupação aparece na 5ª posição. Os demais riscos listados na edição mais recente da pesquisa são, na sequência: impostos, regulações, cadeia de suprimentos e riscos operacionais. Observa-se que três dos quatro itens da lista apresentam relações diretas ou indiretas com a segurança cibernética; a exceção são os impostos.

Outro estudo, este produzido pela KPMG Internacional (KPMG f, 2021), identifica tópicos que devem moldar a forma como as organizações abordam a segurança cibernética. Dentre estes se incluem: (a) alinhamento entre os objetivos de negócios e as necessidades de segurança; (b) confiança como um componente fundamental para a lealdade do cliente, em meio a funcionalidades e conveniências (riscos necessários); (c) evolução do entendimento do conceito de segurança, tanto por parte das equipes técnicas quanto dos gestores dos negócios; (d) regulamentações cibernéticas mais amplas, inserindo, dentre as prioridades e responsabilidades dos negócios, atividades orientadas para o cliente e construção de confiança; (e) ampliação do ecossistema operacional e das premissas da resiliência organizacional; (f) alinhamento entre as necessidades dos negócios e os requisitos de segurança desde o início do desenvolvimento dos processos organizacionais e (g) automação significativa do gerenciamento dos riscos cibernéticos.

No mesmo sentido, a KPMG (2021c) reforça a orientação para que especialistas em segurança cibernética façam parte do processo de tomada de decisões dos altos executivos. Elaborado com base nas percepções de diretores de segurança da informação em grandes organizações de diferentes regiões e segmentos, o estudo elenca sete recomendações para líderes de tecnologia da informação (TI) e demais gestores: (a) ampliar as relações de trabalho entre os CISOs⁴ e outras lideranças da organização; (b) incluir a segurança cibernética no DNA organizacional; (c) moldar a força de trabalho de segurança cibernética futura

3 CEO – Chief Executive Officer ou Diretor Executivo.

4 CISO – sigla em inglês para Chief Information Security Officer

incluindo novas parcerias e a procura por talentos não convencionais; (d) automatizar os processos de segurança cibernética; (e) fortalecer o ecossistema de segurança cibernética; (f) agir como se você (de TI) pertencesse ao alto escalão; e (g) se preparar para mais disrupções.

Por fim, a KPMG (2022a) identifica oito fatores-chave para a segurança cibernética nas empresas. A lista inclui itens citados em estudos anteriores e acrescenta: (a) adaptar a segurança cibernética para a nuvem, com foco na automação dos processos, (b) adotar o modelo “Confiança Zero” (Zero Trust), notadamente diante do trabalho remoto, (c) proteger a fronteira da privacidade, incorporando os conceitos “*privacy by design*” e “*security by design*” e (d) proteger além das fronteiras da organização, que integra ecossistemas complexos e interconectados.

No campo do gerenciamento de riscos no ambiente digital, entende-se que a sensação de confiança é um ativo que (a) aumenta o valor das organizações, (b) promove o crescimento e a inovação, (c) melhora o desempenho e (d) ajuda a gerenciar mudanças. A segurança cibernética, neste contexto, é um desafio e uma oportunidade, na medida em que (a) a automação extrema é inevitável, (b) o crescimento das ameaças cibernéticas é uma consequência natural e (c) assumir riscos é uma necessidade competitiva (KPMG, 2022a).

No que diz respeito à “Segurança Cibernética”, a KPMG (d, sem data) apresentou uma proposta da empresa para gerenciamento dos riscos cibernéticos. A proposta compreende ações e elementos organizacionais. As ações são: (a) detectar vulnerabilidades; (b) prever e prevenir riscos; (c) minimizar os impactos nas ocorrências; e (d) melhorar as operações de forma a mitigar os riscos em ocorrências futuras. Já os elementos sobre os quais as ações se desenvolvem são: (a) propósito e estratégia; (b) cultura organizacional; (c) liderança e gestão; (d) governança e estrutura organizacional; (e) sistemas e processos; e (f) produtos, serviços e operações. Aquela abordagem é corroborada por MIT (c, sem data). Naquele artigo o instituto de pesquisa registra tendência de crescimento do gerenciamento de risco na nuvem nos próximos anos, motivada pela escalabilidade e facilidade de implantação de soluções de governança, risco e conformidade (GRC).

Essas análises permitem identificar as seguintes orientações de desenvolvimento tecnológico para os próximos anos: (a) expansão dos ataques cibernéticos em diversidade de métodos, amplitude e intensidade; (b) ampliação da complexidade das soluções de segurança cibernética; (c) ampliação da oferta de soluções de segurança cibernética na

nuvem; (d) ampliação da dependência tecnológica para gerenciamento dos riscos cibernéticos; (e) sensação de segurança entendida como um ativo organizacional; (f) ampliação das regulamentações relativas à segurança cibernética; (g) disseminação das atribuições relativas à segurança cibernética aos vários níveis e setores das organizações; (h) disseminação das atribuições relativas à segurança cibernética aos parceiros nos negócios; (i) inclusão de disciplinas relativas à segurança cibernética na formação dos profissionais; e (j) segurança cibernética vendida como um negócio. As incertezas consideram o impacto destas tendências no dia a dia das pessoas, nas relações pessoais e organizacionais.

Baseado nas diretrizes apresentadas, é possível identificar de forma mais específica algumas tendências para a segurança cibernética, tais como (Kapersky, 2022):

- A evolução da Internet das Coisas (IoT) – A expansão da Internet das Coisas (IoT) cria mais oportunidades para o cibercrime. Estima-se que haverá 64 bilhões de dispositivos IoT instalados em todo o mundo até 2026. A tendência para o trabalho remoto está ajudando a impulsionar esse aumento.
- Crescimento da diversidade do *ransomware* – Estima-se que atualmente existam mais de 120 famílias separadas de *ransomware* e os hackers se tornaram muito hábeis em esconder códigos maliciosos. A digitização acelerada de muitas organizações, aliada ao trabalho remoto, criou novos alvos para o *ransomware*. Como resultado, tanto o volume de ataques quanto o tamanho das demandas têm aumentado.
- Ataques de engenharia social mais inteligentes – Ataques de engenharia social, como *phishing*,⁵ não são ameaças novas, mas se tornaram mais preocupantes em meio à força de trabalho remoto generalizada. Além dos ataques tradicionais de *phishing* a funcionários, também têm crescido os ataques de *whaling*⁶ direcionados à

⁵ *Phishing* é uma técnica de engenharia social usada para enganar usuários de internet usando fraude eletrônica para obter informações confidenciais, como nome de usuário, senha e detalhes do cartão de crédito.

⁶ O ataque de *whaling* é um método que criminosos virtuais usam para se disfarçar como se fosse um participante de alto escalão de uma organização e atingir diretamente outras pessoas importantes, visando roubar dinheiro e informações sigilosas ou obter acesso a seus sistemas de computadores para fins criminosos.

liderança organizacional executiva. O *phishing* por SMS – às vezes conhecido como *smishing* – também está ganhando destaque, graças à popularidade de aplicativos de mensagens como WhatsApp, Slack, Skype, Signal, WeChat e outros.

- Melhoria da autenticação multifator – A autenticação multifator (MFA) é considerada o padrão-ouro de autenticação. No entanto, os atores mal-intencionados estão encontrando novas maneiras de ignorá-lo – especificamente a autenticação realizada via SMS ou chamadas telefônicas.
- Segurança cibernética móvel se tornando o centro das atenções – A cibersegurança móvel é um tópico amplo que abrange outros elementos, como segurança de *back-end/CLOUD*, segurança de rede e uma rede de objetos cada vez mais conectados (ou seja, a Internet das Coisas), como dispositivos vestíveis e automotivos. Não existe um método único para proteger aplicativos em ambientes inseguros – em vez disso, buscam garantir camadas adicionais de segurança para aumentar o nível geral. Especialistas em segurança estão combinando segurança de *software* móvel com soluções de segurança baseadas em *hardware* para reforçar o armazenamento de dados confidenciais.

O ciberativismo é outra tendência que merece destaque que tem contribuído fortemente para o aumento dos crimes cibernéticos. Movimentos ativistas modernos consideram o ciberativismo como um marco significativo. E de acordo com analistas de segurança cibernética, o “hacking” tende a aumentar nos próximos anos. Os ciberativistas são os equivalentes *online* dos manifestantes que lutam por uma agenda específica. Um de seus principais objetivos é interromper as operações do site de uma empresa ou organização como forma de transmitir suas mensagens aos superiores. Outro motivo é divulgar (o que consideram) as más práticas de uma empresa.

Outra forma de cibercrime com potencialidade de crescimento, ainda que atualmente não se enquadre como dos mais comuns, estão relacionados à cadeia de suprimentos. Isso pode ocorrer quando os ciberdelinquentes encontram uma fraqueza ou várias vulnerabilidades no ecossistema de uma organização, principalmente por meio de sistemas de terceiros. Isso é alimentado pelo súbito aumento da digitalização, o aumento do trabalho remoto e o crescente número de dispositivos conectados. Por causa desses fatores, os ciberdelinquentes são capazes de explorar mais pontos de entrada na cadeia de suprimentos (Fórum

Econômico Mundial, 2021).

12.3 *Blockchain* e criptomoedas

De acordo com IBM,⁷ o *blockchain* se caracteriza como um livro-razão digital, recurso usado por líderes de mercado para remover atritos, construir confiança e gerar mais valor. Dentre suas principais aplicações estão as criptomoedas e os criptoativos. Este cita o bitcoin como exemplo de ativo digital (criptoativo) e explica que a capacidade de conversão direta de bens e serviços de uma economia (requisito de moedas) será conferida quando os países regulamentarem as moedas digitais (criptomoedas) emitidas por seus bancos (Govcoins) (MIT, 2022).

Neste sentido, 80% dos governos ao redor do mundo já anunciaram estudos para criação das suas próprias moedas digitais soberanas. Quanto aos ativos digitais, todos estarão em *blockchain* em um futuro próximo (MIT a, 2022). Migrar das moedas físicas para as digitais envolve um processo de aculturação da população. Nesse sentido, o PIX,⁸ utilizado por 57% dos brasileiros, surge como um facilitador, enquanto o banco central americano planeja em 2023 lançar sua solução de meio de pagamento instantâneo. A velocidade da automatização de processos por ocasião da pandemia pode ter sido surpreendente, mas espera-se que haja uma hiper automatização da economia no cenário dominado por consumidores nativos digitais.⁹

Uma gama de serviços financeiros descentralizados (baseada em criptoativos) poderá ser ofertada via *blockchains*. Um produtor poderá pagar seus fornecedores com segurança desde que, na ponta final, uma instituição – pública ou privada – possa garantir as regras de conversão. Um dos desafios para moedas digitais efetivas é garantir transações em ambientes desconectados, mas há soluções com carteiras virtuais locais que permitem transações por aproximação de aparelhos. Nesse terreno também é fértil para fraudes, novos unicórnios devem surgir a partir de plataformas que ofereçam soluções B2B para auxiliar bancos e demais instituições financeiras tradicionais a captarem oportunidades com a junção dos mundos centralizado (moedas digitais) e descentralizado

7 Site da IBM: O que é *blockchain*. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/what-is-blockchain>. Acesso em: 2 jan. 2022.

8 PIX – meio de pagamento instantâneo.

9 Para usuários finais, moedas digitais e eletrônicas não têm diferença: é convenção de mercado denominar digitais apenas aquelas dotadas de criptografia.

(ativos digitais).

Confiança: talvez esta seja a palavra mais citada no campo da segurança cibernética e ela tem relações indissolúveis com *blockchain*, ativos digitais e moedas digitais. As informações permitem avaliar o crescimento das operações com *blockchains*, ativos e moedas digitais como tendências, bem como dos crimes relacionados. As incertezas incluem, mas não se limitam ao impacto destas tecnologias em: (a) as atividades econômicas; (b) a economia dos extratos sociais; (c) a economia de países e continentes; e (d) os hábitos diários das pessoas, relações de confiança etc.

Outras tendências relacionadas ao *blockchain* podem incluir (LeewayHertz, 2021):

- *Blockchain* como serviço de grandes empresas de tecnologia – O *blockchain* como serviço (BaaS) teve enorme significado em 2021 e seu uso crescerá em muitas *startups* e empresas. BaaS é um serviço baseado em nuvem que permite aos usuários desenvolverem seus próprios produtos digitais em *blockchain*.
- Maior visibilidade das *stablecoins*¹⁰ – A introdução da criptomoeda do Facebook, Libra, fez surgir o conceito de *stablecoins* em 2021.
- Domínio do *Blockchain* autorizado – Os *blockchains* autorizados se tornarão um contribuinte significativo para o crescimento do mercado de *blockchain* e devem manter o maior tamanho de mercado. As soluções de *blockchain* corporativo são personalizadas de acordo com as necessidades de negócios da empresa.
- Domínio do mercado de *blockchain* pelos setores financeiro e bancário – A adoção de *blockchain* e *fintech* permite que esses setores simplifiquem suas operações e modernizem essas operações. Isso pode resultar em transações sem contato e serviços financeiros remodelados. Com isso, espera-se que o setor financeiro e bancário experimente um crescimento exponencial na adoção de *blockchain* nos próximos anos.

12.4 E-Commerce

A Deloitte (2022) analisou as 250 principais empresas do setor

¹⁰ *Stablecoins*, também chamadas de moedas estáveis, são criptomoedas pareadas em algum ativo estável ou cesta de ativos, de modo a controlar a volatilidade.

e observou que todas conseguiram superar as principais métricas de crescimento do ano anterior. A pesquisa destaca a inovação digital e a sustentabilidade como pilares para a trajetória ascendente do varejo, apesar do ambiente de disrupções e incertezas. Antecipar as necessidades do cliente nunca foi tão importante e apenas os *players* que levarem aos consumidores o que eles querem, onde querem e quando querem continuarão a ganhar – não importa onde operem.

Os dados destacam as vendas *online*. Um recorte das dez maiores empresas em receitas no período entre 01/julho/2020 e 30/junho/2021 mostra que em relação ao ano anterior: (a) as vendas de *e-commerce* do Walmart nos EUA cresceram 79%; (b) a receita do varejo da Amazon aumentou 34,8% (maior crescimento na lista); (c) a Costco registrou aumento de 50% nas vendas comparáveis do *e-commerce* (80% no segundo semestre do ano); (d) na Home Depot, as vendas *online* cresceram 86%, ante 14,4% das vendas líquidas totais; (e) a receita de varejo da Kroger cresceu 8,3%, enquanto as vendas digitais cresceram 116%; e (f) a Walgreens Boots Alliance (WBA) registrou o menor crescimento em receita no varejo no período, 1,5%, e 3,3 pontos percentuais menor do que no período anterior.

A nona e a décima posição são ocupadas por novos entrantes. A varejista *online* chinesa JD.com cresceu 27,6% (o segundo maior crescimento no período e o maior nos últimos cinco anos), resultados que levaram a empresa a ingressar pela primeira vez na lista; o relatório cita as parcerias estratégicas com Walmart e Tencent. Já a Target registrou crescimento de receita no varejo de 19,8%, impulsionado principalmente por um aumento de 145% nas vendas digitais; mais de 50% de seu crescimento de vendas digitais comparáveis foi impulsionado por suas opções de atendimento no mesmo dia; estes cresceram 235% no ano, liderados pelo crescimento de mais de 600% no Drive Up. O relatório aponta que as vendas *online* são um dos principais impulsionadores do crescimento dos novos entrantes no Top 10.

Ao comparar o Top 10 e o Top 250, o relatório observa que a margem de lucro líquido composto dos primeiros foi 0,6 pontos percentuais maior do que dos 191 maiores varejistas que o relataram e destaca a rentabilidade dos especialistas *online*, Amazon e JD.com.

O MIT (2022) elenca o que considera os novos elementos da transformação digital. O foco continua sendo a capacidade digital e a liderança, mas tendo os elementos tecnológicos em primeiro plano. Com apoio da robótica se espera que as pessoas trabalhem de forma mais inteligente, rápida e segura. Quanto aos modelos de negócios, as

melhorias digitais aprimoram alguns e são disruptivas sobre outros. Por exemplo, quase 80% dos varejistas tradicionais na Inglaterra estão unindo canais físicos e digitais por meio de práticas de “clique-e-retire”. Em outros casos, vendas de produtos estão sendo convertidas em ofertas de serviços baseados em informações que combinam sensores, redes de comunicação etc., que requerem habilidades analíticas avançadas, desenho do serviço de ponta a ponta e forte integração com equipamentos e processos do cliente. Como exemplo, quilômetros rodados têm sido vendidos em vez de quantidades de pneus.

A transformação digital intensifica a automação de processos com os avanços tecnológicos que incluem computação em nuvem, conectividade, inteligência artificial, Internet das Coisas, orientação por dados, realidade virtual etc. Os números sustentam a trajetória ascendente do comércio eletrônico, tanto em intensidade quanto em amplitude, tanto geográfica quanto de setores da economia. Já a sustentabilidade, o segundo pilar citado no estudo sobre o varejo, recomenda uma ponderação. Por um lado, processos digitalizados consomem menor quantidade de recursos naturais, na medida em que substituem o físico pelo eletrônico, ajudando a eliminar desperdícios etc. Por outro lado, os ganhos em eficiência sustentam o crescimento contínuo do consumo, conforme os mesmos números. Os dois fatores nos fornecem uma megatendência e uma mega incerteza: a tendência é de crescimento contínuo e robusto do *e-commerce*, enquanto a incerteza se dá sobre os impactos deste crescimento sobre a economia global e sobre os recursos naturais do planeta.

A seguir, são listadas algumas tendências para o *e-commerce* (Hostinger, 2022):

- Crescimento do uso do CRM¹¹ pelas empresas, para construção de comunidades em torno de suas marcas. A interação com o cliente, o rastreamento de comportamento, a oferta de programas de fidelidade e recompensas e *marketing* direcionado são algumas estratégias eficazes de CRM que serão cada vez mais consideradas.
- Implementação da venda *omnicanal*¹² para melhorar a experiência

11 CRM – Customer Relationship Management – Gestão de relacionamento com o cliente.

12 *Omnichannel* é uma estratégia de conteúdo entre canais que as organizações usam para melhorar sua experiência do usuário e conduzir melhores relacionamentos com seu público nos pontos de contato.

- entre canais – Combinação de vários canais, incluindo *online* e *offline*, para obtenção de uma taxa de compras mais alta.
- Uso crescente de *chatbots* avançados, como assistentes pessoais para lidar com tarefas mais complexas, além do suporte ao cliente.
 - Uso mais intenso da inteligência artificial para melhoria de várias etapas do negócio, desde a experiência do cliente até o *marketing* e a previsão de tendências.
 - Aumento das conversões e da produtividade com a automação de *marketing* para converter leads em vendas de comércio eletrônico, simplificando seu fluxo de trabalho.

12.5 Privacidade e controle informacional

Estudo desenvolvido pelo Gartner¹³ estima que 75% da população global terá seus dados pessoais cobertos por regulamentos de privacidade de dados até 2024, que processos jurídicos por falhas de privacidade em TI chegarão a US\$ 8 bilhões até 2025 e elegem cinco áreas nas quais as organizações devem se preparar para se adaptarem à regulação. As áreas são: (a) localização dos dados; (b) técnicas de computação aprimorada voltadas à privacidade; (c) governança da inteligência artificial; (d) experiência dos usuários centrada em privacidade; e (e) modelo híbrido envolvendo privacidade, monitoramento e rastreamento.

A localização dos dados envolve um antagonismo aparente. Em tempos de sociedades sem fronteiras, com a adoção de serviços em *CLOUD* e afins, planejar e controlar o país onde os dados residem parece contraintuitivo. No entanto, as diversas leis de privacidade, cenários regulatórios desiguais em diferentes regiões do planeta representam riscos e oportunidades para os negócios, de modo que a decisão se torna estratégica. Nada mais, enfim, do que uma adaptação do que já se vê em outras áreas da sociedade, tais como finanças, posse e porte de armas, drogas etc.

Técnicas de computação aprimorada, notadamente recursos de inteligência artificial, se tornaram fundamentais para o sucesso das organizações. Estes recursos protegem os dados e assim possibilitam processamentos e análises antes impossíveis devido a questões de privacidade ou segurança. Isto pode ser entendido como um equilíbrio de

13 Disponível em: https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2022-05-31-gartner-identifies-top-five-trends-in-privacy-through-2024?utm_medium=social&utm_source=linkedin&utm_campaign=SM_GB_YOY_GTR_SOC_SF1_SM-PR&utm_content=&sf256873576=1. Acesso em: 2 jan. 2023.

forças – IA invasora versus IA protetora – de modo que a governança da inteligência artificial se torna imperativa.

A experiência dos usuários centrada em privacidade retoma um antigo mantra da TI: “o usuário está no controle”. Entende-se como o controle sobre si próprio, incluindo dados pessoais, interesses e tempo, selecionando avisos, notificações e ofertas de produtos ou serviços entre outras interações corriqueiras. Esta tendência é um dos braços do modelo híbrido que permeia a vida profissional e pessoal dos cidadãos, que continuamente escolhem entre manter a privacidade pessoal versus certas comodidades do monitoramento e rastreamento eletrônicos: provar que em determinada data, horário e se estava em determinado local (e não em outro) pode evitar problemas, por exemplo.

Acatando as tendências elencadas pelo Gartner, observa-se que este é o subtema que origina a maior quantidade de incertezas. A causa raiz dessa questão pode ser o exercício de controle sobre as ações das pessoas, o que não ocorre nos demais. Pergunta-se: (a) até onde irão as regulações, nas diferentes partes do mundo; (b) quais delas serão estabelecidas de forma democrática e autocrática; (c) que vantagens e desvantagens sociais, econômicas ou políticas surgirão; (d) como as leis serão exploradas, de forma legal ou ilegal; e (e) que conflitos podem ser acirrados e como serão tratados? O futuro é incerto, mas não é aleatório”, observa Pares em Marcial (2011).

Apresenta-se, a seguir, as principais sementes de futuro indetificadas no campo do futuro das transações e seguranças cibernéticas até 2040.

Tendências

- Aumento da quantidade de transações eletrônicas.
- Aumento da quantidade, diversidade, amplitude e intensidade de ataques cibernéticos.
- Aumento da complexidade das soluções e dos investimentos em segurança cibernética.
- Ampliação da oferta de soluções de segurança cibernética na nuvem.
- Ampliação da dependência tecnológica para gerenciamento dos riscos cibernéticos.
- Ampliação das regulamentações relativas à segurança cibernética.
- Perda de privacidade diante do aumento dos ataques cibernéticos.
- Ampliação da complexidade tecnológica necessária (que agrega

valor à sociedade).

- Aumento do valor de mercado de ativos intangíveis, tais como confiança e reputação ou sensação de segurança entendida como um ativo organizacional.
- Ampliação do mercado de segurança cibernética.
- Maior atenção às relações custo x benefício da segurança cibernética (há riscos necessários à competitividade).
- Tratamento da segurança cibernética além das fronteiras da TI e disseminação das atribuições relativas à segurança cibernética aos vários níveis e setores das organizações.
- Disseminação das atribuições relativas à segurança cibernética nos vários níveis da organização e entre os parceiros nos negócios.
- Inclusão de disciplinas relativas à segurança cibernética na formação dos profissionais das diversas áreas.
- Ampliação da oferta e demanda de soluções de segurança cibernética em CLOUD.
- Concentração de poder nas empresas prestadoras de serviços de segurança cibernética (poder financeiro, social, político etc.).
- Surgimento de novos critérios para autenticação dos usuários de sistemas.
- Ampliação da dependência tecnológica para gerenciamento de riscos cibernéticos.
- Ampliação das regulações relativas à segurança cibernética, para as pessoas e para as organizações.
- Aumento na quantidade de operações com *blockchains*, ativos digitais e moedas digitais, bem como dos crimes relacionados.
- Crescimento contínuo e robusto do *e-commerce*.
- Aumento da preocupação com o planejamento e controle da localização dos dados.
- Desenvolvimento de técnicas de computação aprimorada dedicadas à privacidade.
- Governança da inteligência artificial de forma desigual entre os países e blocos, seguindo a moral e ética que regem cada sociedade.
- Crescimento dos processos de experiência dos usuários centrada em privacidade.
- Crescimento do modelo híbrido contrapondo privacidade versus conveniências de monitoramento e rastreamento.
- Crescimento e evolução da Internet das Coisas (IoT).
- Crescimento da diversidade do *ransomware*.
- Crescimento dos ataques de engenharia social mais inteligentes.

- Melhoria da autenticação multifator.
- Crescimento do ciberativismo.
- Implementação da venda *omnicanal*.
- Crescimento do uso do CRM.
- Uso crescente de *chatbots* avançados.
- Uso mais intenso da inteligência artificial para melhoria de várias etapas do negócio, desde a experiência do cliente até o *marketing* e a previsão de tendências.
- Aumento das conversões e da produtividade com a automação de *marketing*.

Incertezas

- Os impactos daquelas tendências nos hábitos diários das pessoas, nas relações de confiança entre pessoas e organizações levarão a uma “contraofensiva”, ou seja, a um retorno à humanização das relações pessoais? Se sim, onde e com que amplitude e intensidade?
- O impacto daquelas tendências na economia global, nos diversos extratos sociais, países e continentes levará a maior concentração ou desconcentração da riqueza?
- O crescimento do volume de produtos no *e-commerce* aumentará a pegada ecológica, se sobrepondo aos ganhos ambientais da digitalização das ações humanas (menos papel, menos energia etc.)?
- Os diferentes graus de regulação (das transações e da segurança cibernéticas), nas diversas partes do mundo, gerarão vantagens econômicas e/ou tecnológicas aos países menos regulados? Se sim, os países mais regulados reduzirão seus níveis (para se tornarem mais competitivos) ou, ao contrário, os países menos regulados serão culturalmente afetados?
- As pressões pela existência de regulações do ciberespaço ameaçarão ou fortalecerão os regimes democráticos? Como? Onde? Quando?
- Que vantagens e desvantagens sociais, econômicas ou políticas surgirão a partir das diferentes regulações?

Referência

BlackBerry. Relatório de Ameaças 2021. Disponível em: https://www.blackberry.com/br/pt/forms/enterprise/report-bb-2021-threat-report-pt?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=smb_

enterprise_pt-br&_bt=521566543660&_bk=seguranca%20da%20informacao&_bm=b&_bn=g&_bg=120916599023&gclid=Cj0KC-Qjw8_qRBhCXARIsAE2AtRZQAFjj3DjafVZ-zLHwVPn5sNV9K-ZG_MGQn3LXS8LpHy_caNbKwu-QaAknTEALw_wcB. Acesso em 30/08/2022

Delloite. Os Poderosos do Varejo Global 2022. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/br/pt/pages/consumer-business/articles/poderosos-do-varejo-global.html>. acessado em 31/08/2022.

HOSTINGER. Top 18 eCommerce Trends You Should Know in 2022. Disponível em: Top 18 eCommerce Trends You Should Know in 2022 (hostinger.com). Acessado em 21/09/2022.

IBM. Tire suas dúvidas: o que é *blockchain*. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/what-is-blockchain>. acessado em 31/08/2022.

KPMG a. Fatores-chave sobre Segurança Cibernética em 2022. Disponível em: <https://home.kpmg/br/pt/home/insights/2022/02/seguranca-cibernetica-kpmg.html>. acessado em 30/08/2022.

KPMG b. Global CEO Outlook Pulse Survey 2021. Disponível em: <https://home.kpmg/br/pt/home/insights/2021/03/ceo-outlook-pulse.html>. acessado em 31/08/2022.

KPMG c. Perspectivas para a segurança cibernética nas empresas. Disponível em: <https://home.kpmg/br/pt/home/insights/2021/08/seguranca-cibernetica-empresas-tecnologia-da-informacao.html>. acessado em 30/08/2022.

KPMG d. Segurança Cibernética. Disponível em: “<https://home.kpmg/br/pt/home/servicos/consultoria/risk-consulting/seguranca-cibernetica.html>”. acessado em 30/08/2022.

KPMG e. Segurança cibernética: essencial para os negócios. Disponível em: <https://home.kpmg/br/pt/home/insights/2021/05/seguranca-cibernetica-negocios.html>. acessado em 30/08/2022.

KPMG f. Todo cuidado é pouco: principais considerações cibernéticas para uma nova realidade. Disponível em: [extension://elhekiea-bhbkpncefcoobjddigicaadp/https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/br/pdf/2021/07/todo-cuidado-e-pouco.pdf](https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/br/pdf/2021/07/todo-cuidado-e-pouco.pdf). acessado em 30/08/2022.

LEEWAYHERTZ - *SOFTWARE DEVELOPMENT COMPANY*. How *Blockchain* Emerged in 2021 and How It Is Expected to Look In 2022. Disponível em: <https://www.leewayhertz.com/blockchain-trends>. Acessado em 21/09/2022.

MIT a. Entenda os tipos de armazenamento de NFTs e os prós e contras. Disponível em: <https://www.mitsloanreview.com.br/post/entenda-os-tipos-de-armazenamento-de-nfts-e-os-pros-e-contras>. acessado em

31/08/2022.

Bonnet, Didier; Westeman, George. Os novos elementos da transformação digital. MIT Sloan Management Review Brasil. Disponível em: <https://www.mitsloanreview.com.br/post/os-novos-elementos-da-transformacao-digital>. acessado em 31/08/2022b.

MIT c. Quando o risco é gerenciado na nuvem. Disponível em: <https://www.mitsloanreview.com.br/post/quando-o-risco-e-gerenciado-na-nuvem>. acessado em 31/08/2022.

MIT d. Real digital – a oportunidade do século para a economia brasileira. Disponível em: <https://www.mitsloanreview.com.br/post/real-digital-a-oportunidade-do-seculo-para-a-economia-brasileira>. acessado em 31/08/2022.

MIT e. The Nine Elements of Digital Transformation. Disponível em: <https://sloanreview.mit.edu/article/the-nine-elements-of-digital-transformation/>. acessado em 31/08/2022.

PARES, A. Prefácio. In: MARCIAL, E. Análise Estratégica. Estudos de Futuro no Contexto da Inteligência Competitiva. 1. ed. Brasília: Thesaurus, v. 2, 2011. p.13-14.

PwC a. Cibersegurança e privacidade. Disponível em: <https://www.pwc.com.br/pt/consultoria-negocios/ciberseguranca-privacidade.html>. acessado em 30/08/2022.

PwC b. Global Digital Trust *Insights* Survey 2022. Disponível em: <https://www.pwc.com.br/pt/estudos/servicos/consultoria-negocios/2021/global-digital-trust-insights-survey-2022.html>. acessado em 30/08/2022.

PwC c. Simplificando a segurança cibernética. Disponível em: <https://www.pwc.com/gx/en/issues/reinventing-the-future/take-on-tomorrow/simplifying-cybersecurity.html>. acessado em 30/08/2022.

TAKAOKA A. Tendências de Segurança Cibernética. 2020. Disponível em: <https://itforum.com.br/noticias/tendencias-de-seguranca-cibernetica-em-2020/>. Acessado em 20/04/2022

World Economic Forum. Cybercrime predictions for 2022: Deepfakes, cryptocurrencies and misinformation. Nov. 2021. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2021/11/2022-cybercrime-predictions-checkpoint/>. Acessado em 21/09/2022.

Capítulo 13

Automação 4.0

Por Marcello José Pio¹ e Alessandro Maia Pinheiro²

1 Marcello José Pio, Doutor em Ciências, especialista em estudos de futuro. Responsável pelos estudos de prospectiva do Observatório Nacional da Indústria (CNI), pesquisador convidado do Grupo de Pesquisas e Estudos Prospectivos da UCB (NEP/UCB), e pesquisador associado do Centro Internacional para el Desarrollo Sostenible do Panamá (CIDES).

2 Alessandro Maia Pinheiro, Doutor em Economia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Coordenador no IBGE das Pesquisas Econômicas Anuais e Temáticas. Professor Colaborador do Instituto de Economia da UFRJ, Professor Colaborador da Escola Nacional de Ciências Estatísticas (ENCE/IBGE) e Membro do Comitê de *Experts* em Estatísticas Econômicas e de Comércio da ONU.

Automação 4.0

Uma revolução tecnológica reflete o surgimento ao longo do tempo de um conjunto de inovações disruptivas, acompanhadas de novas tecnologias de natureza mais incremental e de mudanças organizacionais e institucionais associadas. Nos anos mais recentes, algumas discussões têm levantado evidências acerca de uma nova revolução tecnológica em gestação, centrada no conceito de Indústria Inteligente e envolvendo, entre outros aspectos, um nível sem precedentes de automação, integração e conectividade de máquinas e equipamentos inteligentes, processos de produção, atividades, sistemas e pessoas em toda a cadeia de valor.

Ainda que pontualmente, desdobramentos têm contemplado forte redução de custos de produção e de mudança entre tarefas; economias de escala não raro migrando da fabricação para o *marketing*, incluindo o monitoramento do comportamento do consumidor; e novas tecnologias de produção e informação habilitando o fornecimento de soluções baseadas na integração de bens e serviços e novos modelos de negócios orientados para serviços, notadamente aqueles mais intensivos em conhecimento. Especula-se acerca de uma provável realocação de determinadas atividades manufatureiras nos países mais avançados com repercussões preocupantes para os menos desenvolvidos (The Economist, 2012; Foresight, 2013; Bordas; Kim, 2013).

A diversidade de sinônimos para a Indústria Inteligente é consequência em boa medida de diversos esquemas de pesquisa e transferência de tecnologia adotados por policy-makers de alguns países, objetivando dar suporte à sua indústria neste processo de conversão ou inovação digital baseada na Internet e, assim, aumentar a competitividade. A Alemanha foi pioneira com o lançamento em 2011 por parte do governo federal da *Industrie 4.0*, em alusão à quarta revolução tecnológica. Trata-se de uma de suas iniciativas-chave, congregando esferas política, empresarial e acadêmica, dentro de sua estratégia de alta tecnologia. Indústria 4.0 pode ser entendida como um termo coletivo para tecnologias e conceitos de organização de uma cadeia de valor, envolvendo tanto tecnologias-plataforma como sistemas físico-cibernetéticos, Internet das Coisas, computação e nuvem; quanto tecnologias mais específicas como robótica, *big data*, inteligência artificial e manu-

fatura aditiva.

No Brasil, pode-se dizer que as iniciativas ainda possuem caráter embrionário, sobretudo em empresas domésticas, concentrando-se principalmente em movimentos de sensibilização de atores econômicos sobre a importância da adoção de tecnologias inteligentes; missões organizadas por entidades de classe, mobilizando empresários, aos países protagonistas da chamada quarta revolução (principalmente Alemanha e Estados Unidos); e realização de levantamentos e estudos visando produzir diagnósticos sobre o estágio atual de adoção de tecnologias e prospectar cenários futuros.

Em 2021, os pesquisadores do Núcleo de Estudos Prospectivos (NEP) da Universidade Católica de Brasília (UCB) consultaram, por meio de questionários de pesquisa, diversos especialistas para identificação das sementes de futuro¹ no campo da *ciência e tecnologia* em 2021 (Pio; Marcial, 2021). Uma das sementes identificadas foi o processo de automação e digitalização associados ao conceito da automação inteligente, com destaque à Inteligência Artificial, a Internet das Coisas (IoT) e sua vertente industrial (Internet Industrial das Coisas).

Além disso, a consulta destacou um novo subtema para o tema automação 4.0, que é o da tecnologia quântica e as novas formas de mobilidade, que foi considerado um novo subtema mais abrangente, que foi denominado veículos autônomos. A complementação desses dois novos subtemas, nos permite inferir a percepção dos *experts* sobre o avanço da complexidade nos processos de automação e conectividade, bem como o uso de novas tecnologias no enfrentamento dos problemas de mobilidade. Além do mais, a pesquisa traz novas percepções sobre o crescimento da fusão/interação de tecnologias oriundas de diversas áreas do conhecimento, como a biotecnologia, a nanotecnologia e as tecnologias ambientais e sociais.

De acordo com a percepção dos especialistas, até 2040 os processos de automação não só serão ampliados, mas também serão dotados de maior complexidade tecnológica. Isso trará repercussões distintas para a sociedade como um todo. A maior complexidade e a ampliação do uso das tecnologias de automação serão observadas pelo crescimento da integração de robôs à vida doméstica (robôs de todas as coisas); uso de tecnologias de realidade virtual imersiva; aumento da capacidade de processamento com a computação quântica, que substi-

¹ Representam fatos ou sinais passados ou presentes que sinalizam possibilidades de eventos futuros (Marcial et. al., 2021).

tuirá o atual modelo CPU-GPU;² e evolução exponencial das tecnologias baseadas em inteligência artificial (IA).

Em relação às tecnologias baseadas em IA, houve posicionamentos distintos dos *experts* consultados. Alguns consideraram que o aumento da complexidade das tecnologias baseadas em IA trará consideráveis benefícios tais como: a criação de novos métodos diagnósticos de exames; o desenvolvimento intenso do *design* generativo (capacidade das IA finalizarem projetos/produtos etc.), facilitando o ato de programar e o desenvolvimento de tecnologias; e o desenvolvimento e operacionalização de sistemas tecnológicos tão complexos que não serão compreendidos ou desenvolvidos por humanos, gerando uma ruptura tecno-cognitiva.

Por outro lado, alguns *experts* consideram que a maior complexidade trará perigos à sociedade, como por exemplo: (1) “crescente risco de desenvolvimento hostil da inteligência artificial em relação à humanidade”; (2) “intensificação do uso IA para tomadas de decisões em níveis estratégicos, com possibilidade de erros severos que comprometem diversidade social”; (3) a “geração ilícitos de grandes proporções”; e (4) a “associação entre a IA, as novas tecnologias neurais e psicodélicos controlados”, que poderão proporcionar novas experiências metafísicas, possibilitando o surgimento de novas formas de devoção e experiências espirituais em escala global, o que terá um forte impacto nas religiões tradicionais.

Além dos perigos que o desenvolvimento exponencial da IA poderá trazer para a sociedade até 2040, os *experts* consideram que será mantido o processo de obsolescência e substituição do trabalho intelectual humano não criativo por sistemas de computadores. Áreas como as de Advocacia, Engenharia de Manutenção e Medicina serão as mais afetadas, acarretando uma redução do emprego de ocupações menos especializadas e a redução da jornada de trabalho.

Este capítulo busca ampliar a discussão sobre a dinâmica do mercado das tecnologias da Indústria 4.0 em termos de volumes e investimentos, bem como os países e regiões que têm se destacado na aquisição de tais tecnologias.

² CPUs (Central Processing Units, unidades de processamento central) e GPUs (Graphics Processing Units, unidades de processamento gráfico) são mecanismos fundamentais de computação.

13.1 A Importância da Indústria 4.0

Vários planos governamentais atestam a preocupação de países desenvolvidos em incentivar o desenvolvimento e uso de tecnologias mais complexas de automação e digitalização. Isso inclui ações de conscientização das empresas potencialmente usuárias, investimentos em infraestrutura, benefícios fiscais para facilitar sua adoção e uso pelas empresas (Büchi et al., 2020). O Quadro 13.1 apresenta alguns dos principais programas para desenvolvimento da Indústria 4.0.

Quadro 13.1 – Planos Industriais dos principais países industrializados

País	Plano Industrial
Alemanha	<i>High-Tech Strategy 2020</i>
França	<i>La Nouvelle France Industrielle (The New Industrial France)</i>
Reino Unido	<i>Future of Manufacturing</i>
Estados Unidos	<i>Advanced Manufacturing Partnership</i>
China	<i>Made in China 2025</i>
Singapura	<i>Research, Innovation and Enterprise</i>
Coreia do Sul	<i>Innovation in Manufacturing 3.0</i>
Itália	Empresa 4.0

Fonte: Büchi et al. (2020).

A difusão das tecnologias da Indústria 4.0 tem permitido às empresas, principalmente industriais, intensificar o uso de tecnologias de automação e digitalização mais complexas em todas as fases dos fluxos produtivos. Com isso, é possível melhorar as métricas de desempenho das suas plantas. O aumento da adoção de dispositivos conectados, combinado com o intenso crescimento no volume de dados de dispositivos de campo, e o acirramento da concorrência global, tem levado as empresas a estabelecerem estratégias de modernização para que seus produtos e serviços se adaptem a um novo formato digital dos negócios.

O barateamento, difusão e convergência de tecnologias, especialmente do chamado tripé digital, formado pelo aumento de banda de conexão, expansão da capacidade de armazenamento e do processamento de dados, habilitaram novos modelos de negócios, como aqueles

baseados em digitização, compartilhamento e plataformas tecnológicas. O desenvolvimento de *CLOUD computing* no início do século XXI permitiu o compartilhamento e a descentralização de bancos de dados e o melhor aproveitamento de capacidade ociosa em servidores, tornando a capacidade de armazenamento um recurso abundante (Tigre & Pinheiro, 2019). A integração de tecnologias como *CLOUD computing*, Internet das Coisas, IA e *big data*, vem viabilizando a manipulação de grandes conjuntos de dados de forma mais fácil. Na medida em que se tornam importantes fontes de vantagem competitiva, as empresas de manufatura se tornam cada vez mais dependentes dessas tecnologias.

Para o World Economic Forum (2018) a difusão das tecnologias da Indústria 4.0 desencadeará uma mudança na estrutura e na localização nas cadeias globais de valor. A adoção de tais tecnologias têm a potencialidade de alterar a relação custo-benefício das atividades de produção, fazendo com que a atratividade de determinadas regiões diminua. Isto significa dizer que empresas e países que terceirizam seu elo produtivo, poderão deslocar tais atividades para mais próximo de seus consumidores, apoiadas, por exemplo, no conceito de *smart factories*. Contudo, o estudo aponta que a inércia é um dos maiores obstáculos para mudar as cadeias de valor globais, pois na maioria dos setores é muito caro transferir a produção de um local para outro.

Büchi e Castagnoli (APUD Büchi, 2020) apresentam a potencialidade das tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 no apoio ao aumento ou melhoria da eficiência e capacidade de produção. Os autores apontam que tais tecnologias são importantes no aumento da eficiência (aumento de volume e custos) nas estratégias de produções customizadas.³ Soma-se a isso, as estratégias de produção mais personalizadas, nas quais as necessidades mais específicas dos clientes, gerando uma “experiência” única de compra, são mais importantes que o volume de produção.

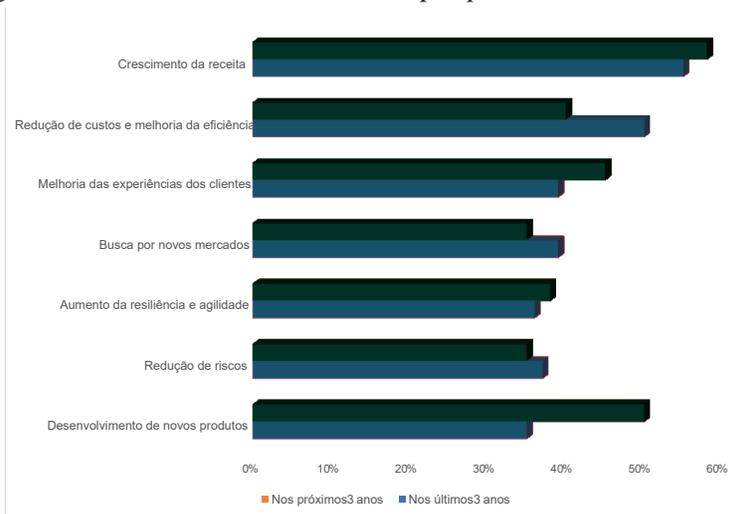
A Oxford Economics e a NTT DATA (Oxford Economics, 2002) realizaram uma pesquisa com 528 executivos de negócios e de tecnologia da informação (TI) em 2021, de diferentes países e regiões, para aprofundar as motivações que têm levado as empresas a implementar as tecnologias da Indústria 4.0. De uma forma geral, a pesquisa identificou que organizações de manufatura estão priorizando o crescimento de receita, redução de custos e maior resiliência e inovação para os próximos três anos. Os recursos investidos e o progresso alcançado va-

3 Fabricação de grandes quantidades de produtos padronizados, de variedade limitada.

riam de acordo com o setor e o tamanho da empresa, mas a ênfase na transformação digital é observável em todos os setores. Quase todos os entrevistados começaram a transformar alguns aspectos de seus modelos de negócios, embora a maioria ainda não tenha concluído a jornada: apenas 24% dizem ter completado totalmente essa transformação. Isso destaca o aumento da importância que os executivos estão dando a seus clientes.

Para os próximos três anos, os objetivos estratégicos dos entrevistados passarão das iniciativas internas, como reduzir custos e melhorar a eficiência do processo, para prioridades voltadas para o mercado, como experiências superiores do cliente e desenvolvimento de novos produtos, serviços e modelos de negócios. O crescimento da receita continuará a ser a maior prioridade estratégica. As questões da qualificação da mão de obra também foram objeto de questionamento junto aos respondentes. A maioria dos entrevistados de manufatura requalificou seus funcionários para que pudessem trabalhar com tecnologias digitais (70%) e em novos processos (66%) e tecnologias (61%) (Oxford Economics, 2022). A Figura 13.1 mostra, de forma sintética, os resultados gerais da pesquisa.

Figura 13.1 – Resultados sintéticos da pesquisa



Fonte: Oxford Economics (2022).

13.2 Panorama da Indústria 4.0

Borschivier et al. (2022), citando a empresa de consultoria *Market and Market*, consideram que os principais fatores que permitiram o crescimento do mercado da Indústria 4.0 são a maior adoção de inteligência artificial, Internet das Coisas e tecnologia *blockchain* no setor de manufatura, aumento da demanda por robôs no setor de fabricação de dispositivos médicos e farmacêuticos, e dos investimentos governamentais em impressão 3D e manufatura aditiva.

Estudo realizado pela empresa Mordor Intelligence, aponta que o mercado global da Indústria 4.0 foi avaliado em US\$ 88,59 bilhões em 2019, podendo alcançar US\$ 220,43 bilhões até 2025, o que significa uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 20,71% no período 2019-2025. A Tabela 13.1 apresenta a série histórica e as projeções das receitas globais em relação às tecnologias da Indústria 4.0 (Mordor Intelligence, 2020).

Tabela 13.1 – Receitas globais (em US\$ bilhões) por tecnologia (2019 – 2025)

Tipo de tecnologia	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	CAGR
Robôs industriais	27.70	25.28	28.77	32.69	37.09	42.00	47.48	13.44%
IIoT	41.89	38.88	45.01	52.02	60.02	69.13	79.48	15.37%
Inteligência Artificial e Aprendizagem de máquina	3.50	3.92	5.48	7.64	10.65	14.81	20.55	39.30%
<i>Blockchain</i>	0.67	0.82	1.25	1.90	2.88	4.36	6.59	51.63%
Realidade Aumentada	1.35	1.61	2.40	3.58	5.32	7.89	11.68	48.62%
Gêmeos Digitais	2.07	2.37	3.39	4.84	6.90	9.81	13.93	42.49%
Impressora 3D	2.58	2.85	3.92	5.38	7.37	10.09	13.78	37.09%
Outros tipos de tecnologias	8.83	10.30	13.97	17.93	21.85	25.17	26.93	21.20%

Fonte: Mordor Intelligence (2020).

Da Tabela 13.1 apresentada, pode-se destacar que no ano base de análise (2019) a Internet Industrial das Coisas (IIoT) ocupou a maior participação de mercado de 47,29%, seguido dos robôs industriais (27,70%). Desses valores é possível inferir a evolução dos processos de automação inteligente implantados pelas empresas usuárias, isto é, a partir da aquisição de máquinas e equipamentos automatizados, parte-se para a conexão entre tais máquinas e a, consequente, possibilidade de digitalização do sistema produtivo. Outro ponto de destaque

é o crescimento do CARG,⁴ no período considerado, da tecnologia de *blockchain* (51,63%), da realidade aumentada (48,62%) e dos gêmeos digitais⁵ (42,49%). O crescimento estimado dessas duas últimas, está intrinsecamente relacionado ao crescimento dos processos de digitalização dos fluxos produtivos, enquanto o possível crescimento da tecnologia de *blockchain* está associado à necessidade de segurança informacional, em sistemas mais conectados e digitalizados e com um considerável volume de dados e informações estratégicas e confidenciais. Em 2019, o principal usuário das tecnologias da Indústria 4.0 foi o setor de petróleo com uma fatia de mercado de 15,01%. Estima-se que o setor aeroespacial e de defesa deverá alcançar um CAGR de 22,01% até 2026. No referido ano, a região com maior *market share*, foi a Europa com 35,19%. Contudo, estima-se que a região Ásia-Pacífico registre um rápido crescimento mais rápido, alcançando um CAGR de 23,41% até 2026 (Mordor Intelligence, 2020).

13.2.1 Indústria 4.0 nos Estados Unidos

As empresas estadunidenses estão adotando, de forma intensa, o conceito de fábricas “inteligentes”. De acordo com a empresa de consultoria Mordor Intelligence, uma grande parte das fábricas do país já está equipada com máquinas modernas e tecnologias da Indústria 4.0. O crescente processo de digitalização da manufatura por grandes organizações, tais como IBM e General Electric, e uma série de iniciativas do governo federal, estão auxiliando na adoção e no uso da internet industrial das coisas (IIoT) pelas pequenas e médias empresas industriais, as quais têm se tornando mais flexíveis na incorporação de novas tecnologias em seus sistemas tradicionais. O setor automotivo, assim como em outros países e regiões, tem alavancado a adoção e uso das tecnologias de automação da Indústria 4.0. As empresas desse setor estão implementando, de forma acelerada, a robótica em suas linhas de montagem, aumentando, com isso, a potencialidade de crescimento da

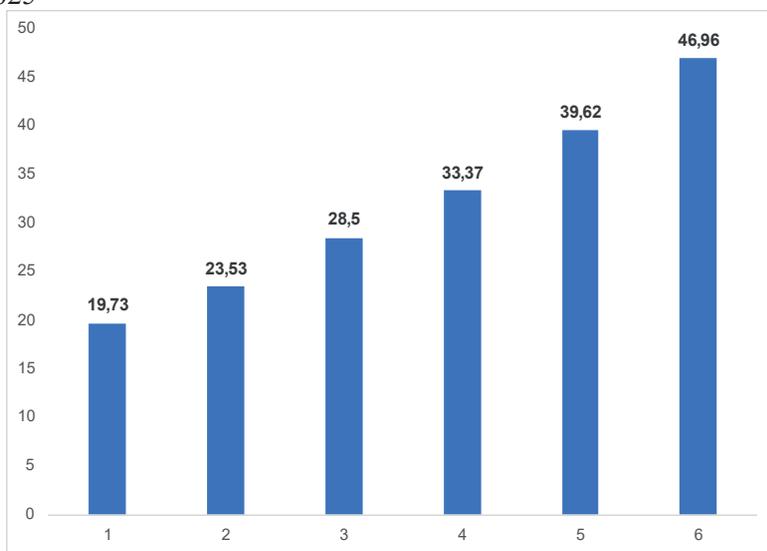
4 CARG – Compound Annual Growth Rate é a taxa de crescimento anual composto, ou seja, a taxa necessária para que um investimento consiga crescer o seu saldo. É uma importante métrica financeira para avaliar a possibilidade de negócio

5 Um gêmeo digital é uma réplica virtual feita à imagem e semelhança de um produto físico. Neste produto digital é possível a inserção, em tempo real, de dados oriundo de sensores ou tecnologias relacionadas aos sistemas de coleta, gestão e tratamento de dados (*Big Data*). Uma das principais vantagens é que os gêmeos digitais permitirão que as empresas possam identificar problemas com antecedência e resolvê-los mais rapidamente (Iberdrola, 2022).

Indústria 4.0 no país.

Além do mais, a crescente regulamentação, como por exemplo a voltada à segurança alimentar, como a Lei de Modernização da Segurança Alimentar, forçam as empresas de alimentos e bebidas a adotarem sistemas automatizados de controle (Mordor Intelligence, 2020). Em 2020, as empresas estadunidenses instalaram cerca de 30.787 unidades robóticas, o que representou um decréscimo de 8% em relação a 2019. Para o período 2021-2024, espera-se um crescimento médio anual de cerca de 10% (International Federations of Robotics, 2021). O Figura 13.2 apresenta as receitas geradas pelas tecnologias da Indústria 4.0 no País.

Figura 13.2 – Receita em bilhões de dólares, Estados Unidos, 2020-2025



Fonte: Mordor Intelligence (2020).

13.2.2 Indústria 4.0 na região Ásia-Pacífico⁶

Em 2020, o mercado da Indústria 4.0, na região, foi avaliado em US\$ 41,49 bilhões, devendo atingir US\$ 62,93 bilhões até 2026. Este crescimento representa um CAGR de 7,57% no período 2020-2026. O segmento tecnológico que mais tem se destacado é o de sistemas

⁶ China, Índia, Japão, Coreia do Sul, Sudeste Asiático e Austrália.

de controle industrial, que representou 81,61% no ano de referência. Contudo, estima-se que o segmento de segurança cibernética deverá experimentar um CAGR de 12,10% até 2026. Na região, o segmento automotivo foi o líder de mercado com 20,86% de participação. Porém, ressalta-se que o segmento farmacêutico tem apresentado um consistente avanço na adoção das tecnologias da Indústria 4.0, devendo registrar o CAGR de 9,81% até 2026 (Mordor Intelligence, 2021 A). A Tabela 13.2 apresenta a série histórica e as projeções de receitas, em relação às tecnologias da Indústria 4.0.

Tabela 13.2 – Receitas (em US\$ bilhões) por tecnologia (2019 – 2026)

Tipo de tecnologia	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	CARG
Recursos e Planejamento Empresarial (ERP)	12.05	10.73	11.05	11.37	11.70	12.04	12.40	12.78	2.94
Gestão do Ciclo de Vida de Produtos (PLM)	10.39	9.38	9.81	10.23	10.68	11.15	11.65	12.18	4.43%
Sistema de Controle Distribuído (DCS)	5.91	5.32	5.53	5.75	5.97	6.21	6.46	6.72	3.97%
Controlador Lógico Programável (CLP)	3.00	2.87	2.94	3.01	3.07	3.15	3.22	3.30	2.34%
Controlador Supervisório e Aquisição de Dados (SCADA)	3.28	2.93	3.02	3.11	3.20	3.30	3.40	3.51	3.05%
Sistemas de Execução da Manufatura (MES)	2.50	2.29	2.43	2.57	2.72	2.87	3.04	3.23	5.86%
Interface Homem-Máquina (IHM)	0.94	0.86	0.92	0.97	1.03	1.10	1.16	1.24	6.17%

Fonte: Mordor Intelligence (2021 A).

Os valores apresentados na Tabela 13.2 ratificam a importância da manufatura para a economia da região da Ásia-Pacífico. Os fortes investimentos em novos, e mais complexos, sistemas industriais de controle representam a constante busca por aumento de escala de produção, e de produtividade, além da redução de custos. Diante deste fato, estamos presenciando uma mudança de conceito na manufatura da região, que está deixando de lado a produção baseada em mão de obra barata, e migrando para a adoção de componentes inteligentes e máquinas inteligentes, que permite a criação de fábricas digitais e, posteriormente, para um ecossistema de plantas e empresas conectadas.

No tocante aos investimentos em robôs industriais, a Federação Internacional de Robótica (IRF), aponta que a região Ásia-Pacífico é o maior mercado de robôs industriais do mundo. Em 2020, 266.452 unidades foram instaladas, o que representa 71% de todos os robôs recém-implantados. Em comparação ao ano de 2019, houve um aumento de 7%. No período 2015 a 2020, as instalações anuais de robôs cresceram

11% em média a cada ano. Contudo, este crescimento foi altamente desigual nos principais mercados asiáticos. A China liderou fortemente este mercado com a instalação de 168.377 (crescimento de 20%), enquanto o Japão instalou 38.653 unidades (decréscimo de 23%), a Coréia do Sul 30.506 unidades (decréscimo de 7%), e a Índia 3.215 unidades (decréscimo de 25%). Além destes mercados, foram destaques Taipei com a instalação de 7373 unidades em 2020, que representou um crescimento de 14% em relação a 2019 e Singapura com a instalação de 5297 unidades, um crescimento de 132% em relação ao ano anterior. A IRF estima que para 2021 as instalações de unidades robóticas na região devem ultrapassar a marca de 300.000 unidades. Quase todos os mercados do Sudeste Asiático devem crescer a taxas de dois dígitos em 2021 (IFR, 2021).

13.2.3 Indústria 4.0 na Europa

O mercado da Indústria 4.0 na Europa foi avaliado em US\$ 51,07 bilhões em 2020, podendo alcançar US\$ 58,86 bilhões até 2026. Isto significa um CAGR de 4,17%, no período de 2021-2026. O setor que lidera a adoção e uso das tecnologias da Indústria 4.0 na região é o automotivo. Este setor representou, em 2020, uma fatia de 25,81% deste mercado. O país líder foi a Alemanha com um *market share* de 33,39%. Porém, estima-se que a Espanha terá o maior CAGR (5,117%) no período 2019-2026, principalmente pela adoção da Internet Industrial das Coisas (IIoT) em empresas de pequeno e médio porte. (Mordor Intelligence, 2021 B). A Tabela 13.3 apresenta a série histórica e as projeções dos gastos, na região, em relação às tecnologias da Indústria 4.0.

A análise da Tabela 13.3, nos permite inferir que os países e empresas européias têm investido em tecnologias de automação e digitalização que permitem uma visão mais ampla e gerencial dos processos de manufatura. Os investimentos em ferramentas ERP⁷ para manufatura, por exemplo, permitem que as empresas identifiquem e planejem todas as suas necessidades de recursos. Com isso, é possível estabelecer uma cadeia de fornecimento otimizada, com gestões eficientes de logística (interna e externa) e armazenamento.

⁷ ERP é a sigla de *Enterprise Resource Planning*, ou Sistema Integrado de Gestão Empresarial.

Tabela 13.3 – Receitas (em US\$ bilhões) por tecnologia (2019 – 2026)

Tipo de tecnologia	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	CARG
Recursos e Planejamento Empresarial (ERP)	12.05	10.73	11.05	11.37	11.70	12.04	12.40	12.78	2.94
Gestão do Ciclo de Vida de Produtos (PLM)	10.39	9.38	9.81	10.23	10.68	11.15	11.65	12.18	4.43%
Sistema de Controle Distribuído (DCS)	5.91	5.32	5.53	5.75	5.97	6.21	6.46	6.72	3.97%
Controlador Lógico Programável (CLP)	3.00	2.87	2.94	3.01	3.07	3.15	3.22	3.30	2.34%
Controlador Supervisório e Aquisição de Dados (SCADA)	3.28	2.93	3.02	3.11	3.20	3.30	3.40	3.51	3.05%
Sistemas de Execução da Manufatura (MES)	2.50	2.29	2.43	2.57	2.72	2.87	3.04	3.23	5.86%
Interface Homem-Máquina (IHM)	0.94	0.86	0.92	0.97	1.03	1.10	1.16	1.24	6.17%
Outras Tecnologias	3.00	2.73	2.88	3.02	3.17	3.32	3.47	3.63	4.79%

Fonte: Mordor Intelligence (2021 B).

Outro destaque são os investimentos em tecnologias para o gerenciamento do ciclo de vida dos produtos. As ferramentas de PLM⁸ unem todas as partes envolvidas na cadeia de valor para a gestão e desenvolvimento de produtos ao longo dos seus ciclos de vida. A partir deste envolvimento busca-se uma racionalização de recursos, em todas as etapas do ciclo de fabricação, por meio da consolidação eficiente das informações de produção em tempo real. O crescimento estimado do CARG das tecnologias de interface Homem-Máquina (IHM) é outro ponto de destaque no referido quadro. Este é um forte indicativo da crescente penetração da inteligência artificial na região.

A transformação da IHM em toda a Europa deve-se ao crescimento da era cognitiva, bem como à crescente penetração da IA, que deverá criar oportunidades para o crescimento do mercado. As IHMs mais avançadas já estão sendo desenvolvidas em ambientes multimídias em fábricas “inteligentes”. Estas tecnologias permitem que os usuários recebam alertas integrados por SMS⁹ e e-mail sobre o status das máquinas e assistam a vídeos integrados dos processos no chão de fábrica. Além do mais, possibilitam o controle remoto de várias máquinas e operações em vários locais, bem como análises das operações da fábrica (Mordor Intelligence, 2021B).

No tocante às instalações de robôs, a IRF apontou uma diminuição de 8% (67.700 unidades instaladas), em comparação ao pico alcançado em 2018 (75.560 unidades instaladas). Contudo, a taxa de cres-

⁸ *Product Lifecycle Management* (PLM), ou Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto, representa um conjunto de soluções e processos.

⁹ SMS – Short Message Service.

cimento média anual no período 2015-2020 foi de 6%. O número de instalações na Alemanha, o maior mercado europeu, permaneceu quase constante em 22.302 unidades, enquanto a Itália, o segundo maior mercado europeu na instalação de robôs, registrou 8.525 unidades instaladas, uma queda de 23%. O terceiro maior mercado, a França registrou 5.368 unidades instaladas, uma queda de 20%. Acredita-se que essas quedas estão fortemente relacionadas à pandemia de COVID-19. Para 2021, estima-se que o continente experimentará um crescimento de cerca de 8%, alcançando a marca de 73.000 unidades instaladas.

No tocante às instalações de robôs, a IRF apontou uma diminuição de 8% (67.700 unidades instaladas), em comparação ao pico alcançado em 2018 (75.560 unidades instaladas). Contudo, a taxa de crescimento média anual no período 2015-2020 foi de 6%. O número de instalações na Alemanha, o maior mercado europeu, permaneceu quase constante em 22.302 unidades, enquanto a Itália, o segundo maior mercado europeu na instalação de robôs, registrou 8.525 unidades instaladas, uma queda de 23%. O terceiro maior mercado, a França registrou 5.368 unidades instaladas, uma queda de 20%. Acredita-se que essas quedas estão fortemente relacionadas à pandemia de COVID-19. Para 2021, estima-se que o continente experimentará um crescimento de cerca de 8%, alcançando a marca de 73.000 unidades instaladas.

13.2.4 Indústria 4.0 no Brasil

No processo de adoção e uso das tecnologias da Indústria 4.0, o País ainda se encontra em um estágio muito inicial. Em 2021 as instalações de robôs no Brasil caíram 13% para 1.595 unidades, o que equivale a cerca de 9 robôs para cada 10 mil funcionários. Ressalta-se que a média global é de 126 robôs por 10 mil funcionários. Apesar do baixo valor, em comparação com 2015, a taxa de crescimento médio anual foi de +3% (IRF, 2021). Pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2020), aponta que as principais restrições para a implantação de projetos e programas, por parte das empresas, para adoção e uso das tecnologias da Indústria 4.0 foram:

- Concorrência com outros projetos de investimento em um cenário de baixa taxa de investimento e de restrições financeiras.
- Atraso tecnológico de empresas dificultando a adoção de tecnologias mais avançadas e complexas.
- Falta de informação sobre as tecnologias e seus impactos, tanto

- para o nível executivo, gerencial quanto operacional.
- Falta de integração funcional na empresa e problemas de gestão corporativa com grande departamentalização de funções.
 - Apesar de tais restrições, a pesquisa identificou as principais motivações das empresas para implementar projetos e programas para implementação das tecnologias da Indústria 4.0. Foram elas:
 - Aumento de produtividade.
 - Aumento da produção industrial para atendimento a mercados em expansão.
 - Redução de custos com manutenção.
 - Controle mais eficiente da produção visando a redução no consumo de energia e de outros insumos industriais.
 - Aumento da eficiência logística por meio da automação e digitalização dos processos de carga e descarga.
 - Em casos de empresas multinacionais, a integração à corporação empresarial.

O Brasil tem apresentado algumas ações para a implementação dos conceitos da Indústria 4.0. Como exemplo, cita a parceria entre a empresa Nokia e o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial do Estado de São Paulo (SENAI-SP), para implementação de seu portfólio de soluções de tecnologia e conectividade no laboratório da instituição em São Caetano do Sul. As tecnologias permitirão a oferta de treinamento em mecatrônica, diminuindo, assim, um dos principais *gaps* existentes na adoção das tecnologias da Indústria 4.0, que é a falta de mão de obra qualificada. Outra ação de destaque é o lançamento, pela empresa Ericsson, dos processos de fabricação inteligente com por configurações modulares e flexíveis em sua fábrica existente no País. O setor automotivo está liderando a transformação digital no País, o que pode ser ilustrado pelo anúncio da empresa Volkswagen do Brasil de um plano de transformação digital para modificar a experiência de clientes e funcionários, por meio da análise de dados e inteligência artificial. A empresa objetiva aumentar a eficiência em 15 a 20% com os novos *layouts* de logística e produção (Mordor Intelligence, 2020).

O Observatório Nacional da Indústria da Confederação Nacional da Indústria (CNI), realizou painel de especialistas para discussão e indicação dos graus de difusão das tecnologias da Indústria 4.0 no Brasil nos próximos 15 anos. Baseado na percepção dos especialistas consultados, a difusão (adoção e uso) das tecnologias de automação e digitalização associadas à Indústria 4.0, no setor industrial brasileiro,

será lento. Dentre os fatores que dificultam a difusão das tecnologias no mercado brasileiros, os especialistas destacaram: falta de mão de obra qualificada, alta complexidade, falta de percepção das vantagens das novas tecnologias frente às tradicionais, custos elevados para compra e manutenção, falta de infraestrutura física e tecnológica nas empresas e necessidade de tecnologias complementares. O Quadro 13.2.4 apresenta os resultados obtidos.

Quadro 13.2.4 – Grau de difusão das tecnologias da Indústria 4.0 no setor industrial brasileiros nos próximos 15 anos

Tecnologias	Grau de difusão nos próximos 5 anos	Grau de difusão nos próximos 10 anos	Grau de difusão nos próximos 15 anos
Uso, pelas empresas industriais, da Internet Industrial das Coisas (IIoT) para controle da produção.	Até 10% do mercado	Até 10% do mercado	11 a 30% do mercado
Uso, pelas empresas industriais, de sistema de <i>Big Data</i> para planejamento da produção.	Até 10% do mercado	Até 10% do mercado	Até 10% do mercado
Uso, pelas empresas industriais, de robôs colaborativos nos processos produtivos.	Até 10% do mercado	Até 10% do mercado	Até 10% do mercado
Digitalização da produção com sensores para identificação de produtos e condições operacionais.	Até 10% do mercado	Até 10% do mercado	11 a 30% do mercado
Uso, pelas empresas industriais, da tecnologia de realidade aumentada.	Até 10% do mercado	11 a 30% do mercado	11 a 30% do mercado
Uso, pelas empresas industriais, de sistemas integrados de engenharia para manufatura de produtos.	Até 10% do mercado	Até 10% do mercado	Até 10% do mercado
Uso, pelas empresas industriais, de tecnologias baseadas em Inteligência Artificial para monitoramento e relacionamento com o mercado.	Até 10% do mercado	Até 10% do mercado	11 a 30% do mercado
Uso, pelas empresas industriais, de visão computacional em etapas do processo produtivo.	11 a 30% do mercado	31 a 50% do mercado	31 a 50% do mercado
Uso, pelas empresas industriais, de sistemas embarcados	Até 10% do mercado	Até 10% do mercado	11 a 30% do mercado
Uso, pelas empresas industriais, de manufatura aditiva (impressão 3D, ...)	11 a 30% do mercado	11 a 30% do mercado	31 a 50% do mercado
Uso, pelas empresas industriais, de sistemas <i>RFID</i> (ex. <i>Tags</i> de identificação, aplicativo para auxiliar na manutenção/instalação de novos produtos, histórico de produção)	11 a 30% do mercado	31 a 50% do mercado	31 a 50% do mercado

Uso, pelas empresas industriais, de tecnologias para sensoriamento inteligente (com conectividade, <i>Analytics, Big Data</i>)	Até 10% do mercado	Até 10% do mercado	11 a 30% do mercado
Uso, pelas empresas, de veículos autônomos (ex. <i>drones</i>)	Até 10% do mercado	Até 10% do mercado	11 a 30% do mercado
Uso, pelas empresas industriais, de sistemas robotizados para trabalhos perigosos	Até 10% do mercado	11 a 30% do mercado	11 a 30% do mercado

Fonte: Observatório Nacional da Indústria (CNI, 2019).

Pinheiro (2017) e Tigre e Pinheiro (2019) elencam alguns passos essenciais para o processo de conversão digital rumo à Indústria 4.0:

- integrar verticalmente a empresa, onde lean manufacturing é pré-requisito;
- virtualizar cada fábrica, incluindo seus processos de produção, ou seja, criar cópias virtuais (*virtual twins*) para permitir rastreamento e monitoramento remoto; e
- integrar toda a cadeia de valor da qual a empresa faz parte, viabilizando a tomada de decisões conforme as necessidades de produção em tempo real, para que a produção seja dimensionada conforme a demanda ao longo de toda a cadeia. No último estágio, pode-se capacitar os sistemas para que decidam por conta própria e tornem-se os mais autônomos possíveis.

Segundo os autores, no Brasil existem muitas indústrias que já automatizaram processos, porém não foram ainda capazes de gerar uma cópia virtual do mundo físico, ou seja, digitalizar a manufatura. Algumas dificuldades, segundo Tigre e Pinheiro (2019), sobressaem no que diz respeito ao atendimento aos requisitos da Indústria 4.0:

- Escassez de capacitação em áreas-chave da Indústria 4.0.
- Inadequação do ensino universitário no Brasil.
- Evasão de talentos.
- Escassez de linhas específicas de incentivo governamental.
- Infraestrutura tecnológica (ex. banda larga e conectividade *wireless*).
- Aspectos institucionais (ex. burocracia) e regulatórios (ex. segurança).

Em termos de áreas para as quais as capacitações deveriam ser

direcionadas e, Pinheiro (2017) e Tigre e Pinheiro (2019) assinalam:

- Engenharia de *software*.
- Engenharia de sistemas.
- *Data science*.
- *Big data analytics*.
- Segurança de rede.
- Automação/robótica.
- IoT.
- Inteligência Artificial (IA)/*Machine-learning*.

Diante do que foi apresentado neste capítulo, pode-se afirmar que o mercado das tecnologias da Indústria 4.0 está em franca expansão, ratificando o movimento das empresas, notadamente industriais, em buscar tecnologias que lhes tragam maior produtividade e competitividade. É possível afirmar, com um determinado grau de certeza, que a automatização e digitalização das empresas é um movimento sem volta. As mudanças e impactos que a adoção dessas tecnologias estão trazendo para os processos fabris, cadeias produtivas e modelos de negócios permitem ratificar a percepção dos especialistas de considerá-la uma megatendência.

Apresenta-se, a seguir, as principais sementes de futuro identificadas no campo do futuro das transações e seguranças cibernéticas até 2040.

Tendências

- Intensificação do uso de sistemas automatizados acarretando uma redução do emprego de ocupações menos especializadas.
- Evolução exponencial da inteligência artificial.
- Aumento intensivo do uso de tecnologias IoT e IIoT nos diversos segmentos econômicos.
- Crescimento da integração de Robôs à vida doméstica (Robôs de todas as coisas).
- Crescimento do uso da tecnologia de realidade virtual imersiva.
- Crescimento da computação quântica substituindo o atual modelo CPU-GPU.
- Utilização da IA para criação de métodos diagnósticos de exames
- Manutenção do processo de obsolescência e substituição do trabalho intelectual humano não criativo por sistemas de computadores

- Uso da inteligência artificial para mitigar a disseminação de imagens e vídeos falsos (*Upending deepfakes*).
- Aplicação de ferramentas e abordagens DevOps para o desenvolvimento e entrega de modelos para industrializar e dimensionar o aprendizado de máquina, desde o desenvolvimento e implantação até a manutenção e gerenciamento contínuos do modelo.

Incertezas

- O aumento dos investimentos em Automação reduzirá as jornadas de trabalho?
- O contínuo desenvolvimento da IA aumentará o risco de desenvolvimento hostil da inteligência artificial em relação à humanidade?

Rupturas

- Avanço da Inteligência Artificial ao ponto de esta desenvolver e operacionalizar sistemas tecnológicos tão complexos que não serão compreendidos ou desenvolvidos por humanos.
- Avanço das Tecnologias Neurais Associadas a Psicodélicos controlados e a Inteligência Artificial proporcionando experiências metafísicas e o surgimento de novas formas de devoção e experiências espirituais em escala global, com possíveis impactos nas religiões.
- Desenvolvimento intenso da IA e do *design* generativo (capacidade das IA finalizarem projetos/produtos etc.), facilitando o ato de programar e desenvolver tecnologias.

Referência

BORSCHIVIER, S., TAVARES, A., SILVIA, K. Estudo de monitoramento da evolução das tecnologias da Indústria 4.0 em grupo de países. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. Brasília. 2022.

BÜCHI, G., CUGNO, M., CASTAGNOLI R. *Smart factory performance and Industry 4.0*. *Technological Forecasting & Social Change*, v. 150, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119790>.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. *A Difusão das tecnologias da Indústria 4.0 em empresas brasileiras*. Brasília: CNI, 2020.

INTERNATIONAL FEDERATIONS OF ROBOTICS. *Executive Summary World Robotics 2021 Industrial Robots*. Frankfurt: IFR, 2021. Disponível em: https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_2021.pdf. Acesso em: 02 out. 2022.

MORDOR INTELLIGENCE. Asia-Pacific *Smart Manufacturing Market* (2021-2026). Motor Intelligence Industry Report, Gachibowli, Índia, 2021(a). <https://www.emis.com>. Acesso em 04/03/2022.

MORDOR INTELLIGENCE. Europe *Smart Manufacturing Market* (2021 - 2026). Motor Intelligence Industry Report, Gachibowli, Índia 2021(b). <https://www.emis.com>. Acesso em 09/03/2022.

MORDOR INTELLIGENCE. Global *Industry 4.0 Market* (2020-2025). Motor Intelligence Industry Report, Gachibowli, Índia, 2020. <https://www.emis.com>. Acesso em 27/02/2022.

NORDÅS, H.K.; KIM, Y. The role of services for competitiveness in manufacturing. OECD Trade Policy Papers, n. 148, OECD, 2013. <http://dx.doi.org/10.1787/5k484xb7cx6b-en>.

NTT Data. The Road to Industry 4.0. Executive Summary. Oxford Economics, Jan. 2022. Disponível em: https://us.nttdata.com/en/-/media/assets/reports/road_to_industry4_nttdata-1-14-22.pdf. Acesso em: 02 out. 2022.

PIO, M.; MARCIAL, E.C. et al. Megatendências mundiais 2040: Dimensão *Ciência e Tecnologia*. Relatório Técnico-Científico da Universidade Católica de Brasília (RTC-UCB). Brasília: Universidade Católica de Brasília, 2021.

TIGRE, P.; PINHEIRO, A (coords). Inovação em serviços e a economia do compartilhamento. São Paulo: Saraiva, 2019.

TIGRE, P., PINHEIRO, A. Estudo do sistema produtivo TIC. Nota Técnica sobre o setor de *software* In: IEL/NC. Indústria 2027: desafios e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas. CNI, 2017.

WORLD ECONOMIC FORUM. The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond. <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond>. Acesso em 22/02/2022.

Capítulo 14

Novos Materiais Estratégicos

Por Marcello José Pio¹

¹ Marcello José Pio, Doutor em Ciências, especialista em estudos de futuro. Responsável pelos estudos de prospectiva do Observatório Nacional da Indústria (CNI), pesquisador convidado do Grupo de Pesquisas e Estudos Prospectivos da UCB (NEP/UCB), e pesquisador associado do Centro Internacional para el Desarrollo Sostenible do Panamá (CIDES).

Novos materiais Estratégicos

Na pesquisa para identificação das sementes de futuro no campo da Ciência, Tecnologia e Inovação (Pio; Marcial, 2021), desenvolvimento de novos materiais foi considerado como uma possível tendência. Tais materiais poderão se tornar estratégicos para o desenvolvimento de produtos com maior complexidade tecnológica e de *design*. De acordo com os especialistas, os avanços das tecnologias na fronteira do conhecimento continuarão em ritmo intenso e acelerado até 2040. Como exemplo, pode-se citar o crescimento exponencial do uso de novos materiais com utilização estratégica em diversas áreas do conhecimento e setores econômicos. Novos materiais baseados em nano e biotecnologia, com destaque para o oferecimento de novos produtos voltados para o aumento da produtividade agrícola, maior sustentabilidade e controle de patógenos, são exemplos clássicos desta tendência.

A indústria de materiais tem se apresentado como um setor estratégico para outras indústrias de ponta no que tange ao desenvolvimento e oferta de novos produtos e processos. Esta posição chave foi intensificada pela globalização *econômica*, que tem promovido de forma contínua a competitividade entre países e regiões. O desenvolvimento tecnológico experimentado pelos setores de energia, automotiva, logística, manufatura, construção e outras, em combinação com as inovações da indústria 4.0 em evolução, impulsionam a demanda por novos materiais (Startus, 2022). Por exemplo, o esforço dos fornecedores da tecnologia de manufatura aditiva em desenvolver materiais que ofereçam maior eficiência, flexibilidade, funcionalidade e customização, em relação aos termoplásticos tradicionais, tem impulsionado o setor de materiais no desenvolvimento e aperfeiçoamento de metais, ligas, cerâmicas, fibras e compósitos. Também incentiva o desenvolvimento de filamentos de polímeros mais duráveis e com melhores propriedades de condutividade, fusão e resistência química.

Até 2040 espera-se, cada vez mais, o desenvolvimento de materiais estruturais, necessários para o desenvolvimento de equipamentos de transporte das próximas gerações, que sejam mais leves, mais fortes, mais resistentes e duráveis e consumindo menos energia. As empresas que integram a indústria de materiais de alta tecnologia têm intensificado seus processos de pesquisas básicas e fundamentais.

Além do mais, estima-se uma intensificação do aprimoramento e aplicação de materiais que podem ser considerados estratégicos, tais como: Grafeno, nanotubos de carbono, ligas amorfas, espuma de metais, e líquidos iônicos. Com a integração estrutural e funcional de materiais de diversas bases nano e biotecnológicas com as tecnologias da informação, os novos materiais estão se tornando mais “inteligentes”. As características ambientais de baixo carbono, e de reciclagem dos materiais têm sido um dos principais drivers de desenvolvimento.

Além do mais, o desenvolvimento de materiais tem buscado a oferta de materiais inteligentes, nano-formulações e compostos avançados com características cada vez mais específicas. Um segundo drive que também norteará o desenvolvimento de materiais é o crescimento da adoção das tecnologias baseadas na inteligência artificial (IA), aprendizado de máquina (ML) e práticas de gerenciamento de grandes quantidades de dados (*big data*).

Vale lembrar que os materiais avançados são materiais de alta qualidade que demonstram propriedades superiores em relação a outros materiais em termos de funcionalidade em diversas áreas de aplicação. Estes podem ser usados individualmente ou em combinação com outros materiais. Esses materiais apresentam propriedades físicas e químicas aprimoradas, como alta rigidez, baixo peso, resistência superior em relação ao reforço de fibras, alta resistência a produtos químicos e temperatura, boa estabilidade dimensional e alta flexibilidade (P&S Intelligence, 2022).

14.1 A importância dos Materiais Avançados

Os materiais avançados possuem propriedades muito superiores, em relação aos tradicionais, no que tange à tenacidade, dureza, durabilidade e elasticidade. Além do mais, eles podem conter novas propriedades, incluindo a capacidade de memorizar formas ou sentir mudanças em seu ambiente e responder a essas mudanças. O desenvolvimento de materiais avançados possibilita criar *designs*, como implantes médicos e computadores de bolso. Os setores industriais já têm utilizado alguns materiais avançados, mas existe uma grande potencialidade de incremento caso todas as áreas de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) dessa temática tenham sucesso (Callaghan, 2012). Kennedy et al. (2019) apresentam algumas definições de materiais avançados de acordo com determinados autores e instituições:

- **Tecnologias de materiais avançados radicais:** São produtos e processos que melhoram significativamente a fronteira custo-desempenho de materiais funcionais (Maine e Garnsey, 2006).
- **Materiais avançados:** São materiais, e suas tecnologias de processo associadas, com potencial para serem explorados em produtos de alto valor agregado (UK Technology Strategy Board, 2011).
- **Tecnologias inovadoras de materiais avançados:** São tecnologias que têm um impacto direto e positivo no crescimento econômico, no *meio ambiente* e na qualidade de vida, por meio de processos e produtos aprimorados, ao longo de seu ciclo de vida.
- **Materiais avançados:** Materiais que foram desenvolvidos até a identificação de funcionalidades específicas e únicas, que devem estar acessíveis em quantidades suficientes para que seus potenciais usuários os testem e validem tornando-os aptos ao desenvolvimento de produtos (Featherston e O’Sullivan, 2014).
- **Materiais avançados:** Os materiais avançados referem-se a todos os novos materiais e modificações em materiais existentes que visam obter um desempenho superior em uma ou mais características críticas. Eles também podem exibir propriedades completamente novas (DTIC, 2018).

A relevância dos materiais avançados, pode ainda ser verificada pelas ações da União Europeia no tocante ao desenvolvimento desta área de conhecimento. A Comissão Europeia, em seu “Materials 2030 Manifesto: Systemic Approach of Advanced Materials for Prosperity – A 2030 Perspective” (2022), elenca as principais diretrizes e linhas de pesquisa que devem ser enfatizadas pelos países que compõem o grupo:

- **Unindo capacidades e competências digitais e materiais** – Uso das tecnologias da indústria 4.0, tais como computação de alto desempenho, *big data* e IA, nas melhorias da modelagem digital, simulação e identificação de propriedades de novos materiais, permitindo a fusão de ciência de materiais com as tecnologias computacionais, que por sua vez impulsiona, as novas formas de comunicação (5G e 6G). Isso levará a novos produtos/sistemas seguros e sustentáveis por *design*, que utilizam materiais inteligentes e avançados com funcionalidades e propriedades físicas direcionadas.
- **Combinação entre o desenvolvimento tecnológico e as necessidades de mercado** – As linhas de pesquisa devem ser aderentes aos desenvolvimentos ao longo da cadeia de valor, aumentando os

processos liderados por *startups* e empresas industriais.

- **UE Unida** – Todos os 27 Estados-Membros devem contribuir para os esforços de nivelamento do desenvolvimento de materiais avançados, sem deixar ninguém para trás. Neste processo, padrões e normas harmonizadas, criam bases comuns e atuam como um normatizador global, o que é crucial para fortalecer a soberania da Europa.

14.2 O mercado de materiais avançados

O mercado de materiais avançados, no qual fazem parte os novos materiais, se caracterizam por intensos investimentos em pesquisa para o desenvolvimento de novos materiais avançados e para a melhoria de produtos existentes em termos de propriedades. A alta qualidade desses materiais incentiva seu uso em indústrias como saúde, aeroespacial e automotiva. Além disso, a crescente aplicação de ligas avançadas de aço e alumínio em várias indústrias de uso final está resultando no aumento de sua demanda em todo o mundo (P&S Intelligence, 2022).

O crescimento do mercado de materiais avançados se dá por diversos fatores, tais como (Elsevier, 2022):

- **Redução de custos e aumento da lucratividade** – Materiais avançados que são mais fortes, mais leves e mais duráveis, na substituição de peças ou podem compensar os desafios operacionais e de fabricação não resolvidos por materiais relativamente menos funcionais.
- **Aumento da satisfação e fidelização dos consumidores finais** – Devido às suas propriedades inerentemente aprimoradas, os materiais avançados podem levar a produtos que atendam melhor aos requisitos do cliente e contenham menos defeitos, o que se traduzirá em maior competitividade.
- **Conformidade regulatória e sustentabilidade** – Regulamentações mais recentes e mais rigorosas estão tornando a fabricação e a produção cada vez mais árduas. O uso de materiais avançados deve ajudar as empresas a cumprir os regulamentos sem sacrificar os objetivos de desempenho.

Materiais avançados são materiais de alta qualidade que demonstram propriedades superiores em relação a outros materiais em termos de funcionalidade em diversas áreas de aplicação. Estes podem

ser usados individualmente ou em combinação com outros materiais. Esses materiais apresentam propriedades físicas e químicas aprimoradas, como alta rigidez, baixo peso, resistência superior em relação ao reforço de fibras, alta resistência a produtos químicos e temperatura, boa estabilidade dimensional e alta flexibilidade.

Em seu relatório sobre as projeções para o mercado de materiais avançados, *Advanced Materials Market – Forecast (2022-2025)*, a empresa Industry ARC, estima que este setor alcance cerca de US\$ 2,1 trilhões até 2025, depois de crescer a uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 4,5% no período 2020-2025. Esse mercado é dominado pela região Ásia-Pacífico devido à crescente demanda de vários setores de uso final, como automotivo, aviação, construção civil e outros. A demanda por cerâmicas vem crescendo devido à sua aplicação na produção de dispositivos médicos.

O segmento de cerâmica (como: alumina, nitreto de alumínio, zircônia, carbetto de silício, nitreto de silício e materiais à base de titânio) detém a maior participação no mercado de materiais avançados. Esse protagonismo pode ser explicado pela adoção de eletrocerâmica em semicondutores e eletrônicos, devido às propriedades superiores desses materiais, como alta tolerância a danos, tenacidade, resistência à temperatura e resistência à corrosão. Além disso, o uso da eletrocerâmica ajuda a reduzir o peso e o tamanho geral dos dispositivos eletrônicos. Isso impulsionou a demanda por esses materiais na indústria eletrônica e impactou positivamente o crescimento do mercado de materiais avançados.

Além do mais, as preocupações ambientais sobre o uso de plásticos e as regulamentações governamentais estão impulsionando ainda mais a utilização de cerâmica. Em combinação com outros materiais, os produtos cerâmicos alcançam propriedades de condutividade elétrica, assim como os metais. Essas cerâmicas avançadas atendem às necessidades específicas de sua aplicação, o que criará uma demanda crescente. A empresa Mordor Global Industry Reports, estima que o mercado global de cerâmica avançada está estimado em US\$ 80.442,64 milhões em 2021 e deve atingir US\$ 111.382,07 milhões até 2026, registrando um CAGR de 6,72% durante o período 2021-2026 (Mordor Intelligence, 2021).

O setor automotivo tem sido o principal consumidor de materiais avançados. Este fato pode ser explicado pela demanda crescente, desse setor, por melhorias na economia de combustível e controle de emissões. Logo, há um grande interesse no uso de materiais avançados,

como aços avançados de alta resistência, ligas não ferrosas (alumínio e titânio) e uma variedade de compósitos (fibra de carbono e matriz metálica) para produzir veículos leves. Além do mais, o setor tem adotado, a grande velocidade, sistemas eletrônicos relacionados à segurança, microcontroladores (MCUs) e sensores e memória.

Dentre os direcionadores para este mercado, podemos apontar a evolução do setor aeroespacial, no que se refere à crescente exigência e consequente introdução de novos materiais para substituir aqueles existentes. Soma-se a este, a crescente demanda por veículos elétricos a bateria. A mudança para veículos elétricos nas nações desenvolvidas e em desenvolvimento impulsionará o crescimento dos veículos com motor de combustão interna, impactando positivamente o mercado de materiais avançados. De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), Noruega, Holanda e Japão são pioneiros no segmento de veículos eletrônicos. A Noruega detinha a participação de 46% em termos de vendas globais de carros elétricos novos, conforme relatado pela IEA em 2018, e veículos movidos a gasolina completamente e mudar para veículos elétricos até 2040.

Outro relatório da empresa Maximize Market Research, “Advanced Materials Market: Global Industry Analysis and Forecast” (2021-2027) por Material Type, End-Use Industry, and Region aponta que a Região Ásia-Pacífico (APAC) tem dominado o mercado de materiais avançados, com uma participação de mais de 58% seguido pela América do Norte e Europa, devido ao crescente número de indústrias e atividades de fabricação crescentes nos países emergentes da região, como China e Índia.

Esse relatório aponta que a APAC é a maior fabricante mundial de compósitos, e espera-se que o mercado de compósitos de madeira e plástico cresça a uma taxa de 10-13% em termos de volume de fabricação. O WPC (Wood-Polymer Composite) tem sido utilizado em conjunto com compósitos plásticos feitos de materiais orgânicos por produtores automotivos nesta área para reduzir o peso do veículo e as emissões de carbono. A China é o maior consumidor dentre os países da APAC, e o segundo maior consumidor do mundo, depois dos Estados Unidos da América (EUA).

Ambos os relatórios, apontam que um dos desafios para esse mercado está relacionado ao preço. Os materiais avançados ainda são muito caros em comparação com os seus homólogos tradicionais. Por exemplo, os nanomateriais podem custar mais de US\$ 1.000,00 por grama (Maximize, 2022). Soma-se a isso, a falta de mão de obra qualifi-

cada nas organizações, que é considerada um dos maiores entraves para o mercado. A demanda em setores sensíveis a preços, como aeroespacial e de defesa, que é o maior consumidor de materiais sofisticados, é prejudicada pelos altos preços. Os polímeros reforçados com fibra de carbono são amplamente utilizados em uma ampla gama de aplicações aeroespaciais, esportivas e de energia eólica, devido às suas excelentes propriedades mecânicas e térmicas em altas temperaturas. No entanto, os preços atuais para a produção de contrapartes tradicionais de fibra de carbono (por exemplo, alumínio) são cinco a sete vezes mais baratos em comparação. Isso dificulta o uso de fibra de carbono, agindo assim como uma grande restrição para o mercado de polímeros reforçados com fibra de carbono.

14.3 Tendências para o setor de materiais avançados

O Fórum Econômico Mundial, em seu mapa de transformação (WEF, 2022), no qual identifica as tendências e relações dos grandes temas em desenvolvimento, aponta que o desenvolvimento de materiais avançados será orientado para as seguintes linhas (WEF, 2022): novas ligas metálicas, materiais para energias renováveis, metais sustentáveis, materiais para micro e nanorobôs aplicados para a área médica, materiais avançados para sistemas de *big data*, materiais poliméricos e leves sustentáveis e materiais para melhoramento de baterias.

Apresenta-se, a seguir, um resumo de cada uma das tendências apresentadas pelo WEF (2022).

Novas Ligas Metálicas

De acordo com a instituição, novos paradigmas de *design* serão demandados e a tecnologia de aprendizado de máquina (*Machine Learnig*) terá um papel importante nas linhas de pesquisa e desenvolvimento. A pesquisa e o desenvolvimento relacionados devem se concentrar na descoberta e no avanço de novos materiais metálicos de alto desempenho. Exemplos incluem aços de alta resistência, metais leves, compósitos de matriz metálica, materiais magnéticos de alto desempenho, biomateriais metálicos, ligas termoelétricas e supercondutoras, aços ferríticos para futuros reatores de fusão, catalisadores à base de metal, hidretos metálicos nanocristalinos e materiais metálicos potencialmente a granel. óculos para aplicações de nicho de alto desempenho. As abordagens computacionais para pesquisa de metais se tornarão

cada vez mais importantes para estratégias de modelagem multiescala no projeto de novas ligas e microestruturas, e seu projeto e teste virtual. E para isso, a aprendizagem de máquina poderá ajudar na compreensão quais materiais e microestruturas darão as propriedades específicas para as novas ligas.

Materiais para Energias Renováveis

O aumento global do consumo de energia tem sido acompanhado, mas ainda em ritmos diferentes, da difusão das tecnologias para geração de energias renováveis. Essa potencialidade de crescimento das energias renováveis, cria um campo promissor para o desenvolvimento de materiais avançados. Além das células fotovoltaicas, atualmente um processo altamente eficiente na conversão da energia solar em eletricidade, e das células solares baseadas em silício cristalino, o foco de desenvolvimento se encontra nos materiais de perovskita de haletos. Existem, também, pesquisas para o desenvolvimento de células solares sensibilizadas por corantes. Contudo, o maior desafio desse campo será o de encontrar materiais que não precisem possuir alta pureza, sejam abundantes e baratos e sejam capazes de separar eficientemente cargas em dimensões macroscópicas. Uma abordagem promissora de armazenamento de energia envolve o uso da luz solar para produzir combustíveis solares, onde a energia é armazenada na forma de ligações químicas – para que o transportador de energia possa ser armazenado, transportado e convertido conforme necessário.

Metais Sustentáveis

A potencialidade no desenvolvimento de metais sustentáveis, se baseia na tendência de diminuição do uso de elementos críticos de terras raras e metais refratários como cobalto, titânio, nióbio e tântalo. Com isso, novas estratégias para reciclagem devem ser desenvolvidas. As abordagens para o desenvolvimento de metais sustentáveis incluem o desenvolvimento de ligas para a substituição de elementos problemáticos, *design* de ligas para melhorar a possibilidade de reciclagem e otimização de materiais para maior durabilidade e resistência à fadiga.

Os desafios relacionados ao desenvolvimento estão relacionados, principalmente, à necessidade de fabricação mais eficiente, *design* de ligas mais orientado à reciclagem e redução geral do peso. O aumento da vida útil do metal deverá ser aprimorado melhorando ainda mais

a resistência à corrosão e identificando novas estratégias de projetos que adotem uma abordagem multimaterial para reduzir as rachaduras por corrosão sob tensão. Linhas de pesquisas para a identificação de novas estratégias para o desenvolvimento de materiais tolerantes a danos, onde o fechamento de trincas possa ser induzido por deformação plástica ou através de transformações de fase acionadas por tensão, será fundamental.

Materiais para micro e nanorobôs aplicados para a área médica

A busca por tratamentos médicos menos invasivos e personalizados está impulsionando o desenvolvimento de materiais avançados. A busca por dispositivos médicos miniaturizados para a entrega direcionada de medicamentos, ou para a realização de cirurgias localizadas, será a tônica para essas linhas de pesquisa. Contudo, o sucesso desses desenvolvimentos dependerá da capacidade de produzir objetos em pequena escala que possam realizar essas tarefas de forma autônoma em organismos vivos. O desenvolvimento de micro ou nanorobôs é um dos grandes desafios para esse campo. Esses dispositivos deverão ser capazes de se autopropulsionar – isto é, mover-se de forma programável para superar as limitações de transporte impostas pela difusão – e navegar efetivamente nos tecidos ou na corrente sanguínea. Esses dispositivos devem ser construídos com materiais que permitam detectar estímulos, como gradientes químicos liberados por tecidos danificados ou gradientes de temperatura gerados por inflamação – e reagir aos estímulos sem intervenção externa.

Materiais avançados para sistemas de *big data*

O aumento da difusão (aquisição e uso) das tecnologias de automação não está somente aumentando o uso de sistemas microeletrônicos, mas também é o responsável pelo aumento do consumo de energia pelas tecnologias de informação. Diante desse quadro, deve-se buscar desenvolver dispositivos com maior eficiência energética baseados em novos materiais. O problema fundamental com os dispositivos microeletrônicos atuais é que seu processamento de informações depende de cargas eletrônicas em movimento, que é considerado um processo ineficiente porque gera desperdício energético à medida que tais dispositi-

vos aquecem. Para solucionar este inconveniente, as linhas de pesquisa deverão buscar o desenvolvimento de materiais que permitam o controle de spins de elétrons por tensão ou corrente elétrica – os chamados materiais multiferróicos¹ e spintrônicos.² Com estes materiais é possível combinar armazenamento de dados não voláteis e capacidade de processamento, o que oferece grandes oportunidades de economia de energia, miniaturização e eficiência. Contudo, como os materiais multiferróicos são tanto ferromagnéticos (contendo dipolos magnéticos dos polos norte e sul alinhados em paralelo) quanto ferroelétricos (com dipolos elétricos alinhados feitos de cargas positivas e negativas), o maior desafio de pesquisa é a combinação dessas duas propriedades em um único material.

Tendências

Crescimento da biotecnologia com o surgimento de novos produtos biológicos voltados para o aumento da produtividade agrícola, maior sustentabilidade e controle de patógenos.

Desenvolvimento de ligas Metálicas de alto desempenho Desenvolvimento de materiais para energias renováveis e sistemas de armazenamento de energia.

Desenvolvimento de metais sustentáveis devido à diminuição do uso de elementos críticos de terras raras e metais refratários. **Materiais poliméricos leves e sustentáveis**

O crescimento do uso de polímeros (plásticos em geral) e materiais macios (espumas, emulsões e géis), em diferentes segmentos econômicos, tem feito com que as questões sobre a sustentabilidade de tais materiais ficassem em segundo plano. Atualmente, os projetos de desenvolvimento para estes materiais são empíricos e, em muitos casos, recorrem a aditivos complexos ou formulações multicomponentes complexas. Neste caso, os projetos de desenvolvimento de polímeros e materiais leves deverão, cada vez mais, considerar as questões rela-

1 São materiais que possuem suas propriedades elétricas e magnéticas acopladas de forma parcial ou total.

2 Os materiais spintrônicos se caracterizam por armazenar dados no spin do elétron, e não nas correntes de elétrons, como na eletrônica atual.

cionadas às propriedades que determinam a vida útil do material, e sua simplicidade de estrutura e fabricação, mantendo a qualidade final do produto. O uso de ferramentas de engenharia de sistemas ou métodos de inteligência artificial nos projetos para novas linhas de produção pode resultar na produção e consumo mais responsável de materiais altamente duráveis e de alto desempenho.

Materiais para melhoramento de baterias

O crescimento das energias renováveis tem posto uma nova discussão em pauta, que é a necessidade de desenvolvimento de formas temporárias de armazenamento de energia, dada a intermitência deste tipo de energia. Logo, há uma demanda urgente no desenvolvimento de materiais capazes de capturar, converter e, finalmente, armazenar energia. As baterias ocupam, atualmente, o protagonismo tecnológico para o armazenamento direto de energia elétrica e apoio à integração de recursos renováveis na rede elétrica. No entanto, apesar do desenvolvimento de alguns sistemas disponíveis comercialmente, as aplicações em larga escala ainda são muito caras. Em contraste com as aplicações estacionárias, as baterias se estabeleceram amplamente e com sucesso para uso em dispositivos móveis; baterias recarregáveis de íons de lítio são predominantemente utilizadas para alimentar dispositivos eletrônicos portáteis, como telefones. As baterias de íons de lítio são amplamente utilizadas em veículos elétricos cada vez mais populares, embora questões relacionadas à segurança e confiabilidade tenham exigido um controle rigoroso dos sistemas de gerenciamento de baterias. O desenvolvimento de dispositivos que podem ser dobrados, esticados ou enrolados tornou necessário que as baterias tivessem um *design* mais flexível, exigindo um redesenho completo de sua arquitetura. Ressalta-se que todos os esforços de pesquisa, nesse tema, estão cada vez mais focados na sustentabilidade – desenvolvimento tecnologias emergentes que evitam elementos raros, caros ou tóxicos e enfatizam fortemente a possibilidade de reciclagem da matéria-prima.

A seguir, serão apresentados exemplos mais específicos, dos principais desenvolvimentos no campo de materiais avançados, apontadas por especialistas e sites de empresas de consultoria (Status; Machine Mfg; JXSC, 2022).

- **Nanotubos de carbono** – As elevadas resistências específicas deste material, cerca de 300 vezes mais forte que o aço, alta condutivida-

de térmica e elétrica, permitem seu uso em diversos equipamentos eletrônicos e até elevadores espaciais.

- **Metais amorfos (ou vidros metálicos)** – Estes materiais se caracterizam pela sua estrutura atômica desordenada, e por isso, eles podem dispersar energia de forma altamente eficaz. Esses materiais são formados pelo resfriamento rápido do metal fundido antes do alinhamento de sua estrutura cristalina. Os metais amorfos têm potencialidade de uso na área militar, especificamente no uso das próximas gerações de equipamentos blindados. Atualmente, são usados para munição perfurante de blindagem. Eles também têm aplicações em redes elétricas.
- **Materiais leves** – As necessidades de vários setores, tais como a aeroespacial e automotiva, que buscam novos mecanismos para redução de peso de seus produtos e, conseqüentemente, melhorar a eficiência energética e ambiental, têm impulsionado a pesquisa e desenvolvimento de plásticos de alta resistência e fibra de carbono, além da incorporação de materiais como alumínio, magnésio e titânio.
- **Espuma Metálica** – Este material, produzido a partir da técnica de moldagem por injeção metálica (MIM), se caracteriza por ser uma substância muito forte que é muito leve (entre 75-95% de espaço vazio). Devido à sua alta relação resistência-peso, as espumas metálicas poderão ser utilizadas como materiais de construção para colônias espaciais. Além do mais, poderão atuar como isolantes acústicos.
- **Materiais 2D** – Os avanços no campo da nanotecnologia têm permitido a pesquisa e desenvolvimento, pelas empresas de ciência dos materiais, a configuração de materiais 2D ou de camada única. Como possuem condutividade térmica e resistência mecânica, tais materiais possuem grande potencialidade para aplicações industriais. Contudo, a maioria dos materiais 2D, como germaneno, siliceno, estaneno e fosforeno, ainda estão em desenvolvimento.
- **Materiais autorreparáveis** – são materiais passíveis de auto reparos caso tenham sofrido algum dano, como por exemplo arranhões. Eles são muito úteis em aplicações como pinturas de carros, revestimentos de mesa e qualquer outro uso estético que possa sofrer algum tipo de dano.
- **Metamateriais** – são materiais capazes de serem invisíveis quando submetidos a um determinado comprimento de onda. Eles já foram usados para criar “capas de invisibilidade” de micro-ondas, capas

de invisibilidade 2D e outros materiais com propriedades ópticas incomuns. Alguns desses materiais possuem índices de refração negativos. Isso pode permitir que sejam usados para criar “superlentes” que identificam determinados recursos menores que o comprimento de onda da luz.

- **Alumina transparente** – A alumina transparente é cerca de três vezes mais forte que o aço, além de ser transparente. Essas características permitem uma série de aplicações potenciais para este material, como por exemplo o uso como vidro à prova de balas.
- **Aerogel** – Este material é composto de géis líquidos secos supercríticos de alumina, cromo, óxido de estanho ou carbono. 99,8% de seu espaço é vazio, tornando-o semitransparente. Com uma densidade muito baixa, este material pode ser usado em futuras blindagens militares devido às suas propriedades isolantes. Além do mais, eles possuem um grande potencial nas áreas de conservação de energia e proteção ambiental, e isolamento térmico em aparelhos elétricos e de construção.
- **Materiais supercondutores** – No estado supercondutor, estes materiais têm resistência zero, isto é, não há perda alguma de corrente e o material exibe propriedades antimagnéticas em um campo magnético. Com a difusão dos supercondutores de alta temperatura, no futuro, os problemas de perda de transmissão de energia, aquecimento de dispositivos eletrônicos, poderão ser solucionados.
- **Espuma de Titânio** – A espuma de titânio é produzida ao saturar uma espuma de poliuretano com uma solução de pó de titânio e agentes ligantes, forçando o metal a aderir à forma da espuma simples e depois vaporizar a estrutura subjacente. O resultado é uma treliça de titânio na forma da espuma original, que pode ser tratada termicamente para ajustar as propriedades do material. Este material tem enorme potencialidade para substituir ossos, uma vez que possui propriedades mecânicas incrivelmente semelhantes e, por ser poroso, o novo osso pode crescer em torno de sua estrutura, integrando verdadeiramente o implante ao esqueleto.
- **Celulose Nanocristalina** – Este material se caracteriza por ter boa biocompatibilidade, capacidade de retenção de água, ampla faixa de estabilidade de pH, estrutura de nano-rede e altas propriedades mecânicas. Tem grandes perspectivas de aplicação nas áreas de biomedicina, papel e celulose, purificação e alimentos.
- **Grafeno** – O grafeno foi o primeiro material 2D comercializado com sucesso. Ele é formado por uma única camada de átomos de

carbono com uma rede hexagonal bidimensional, unidos no nível atômico por meio de fortes ligações covalentes (Danekar; Narune; Prasad, 2021). A excelente condutividade elétrica deste material, associada com sua baixíssima resistividade, velocidades extremas de migração de elétrons e excelente transmissão de luz sobre o aço, permitirá que o uso desse material experimente um crescimento exponencial nas áreas de displays fotoelétricos, semicondutores, telas sensíveis ao toque, dispositivos eletrônicos, baterias de armazenamento de energia, equipamentos aeroespaciais e militares, e biomedicina. O tamanho do mercado global de grafeno foi avaliado em US\$ 87.500,0 mil em 2019 e deve chegar a US\$ 876.799,5 mil até 2027, crescendo a um CAGR% de 40,2% de 2020 a 2027. Ele tem sido utilizado em muitos setores, tais como o aeroespacial, automotivo, farmacêutica, petróleo, eletrônica, revestimentos e químico (Danekar; Narune; Prasad, 2021).

Este capítulo buscou apresentar a importância dos novos materiais para o desenvolvimento de produtos e processos, bem como a criação de *designs* específicos e complexos. A diversidade de desenvolvimento desses materiais, e a potencialidade estratégica de uso e de mercado, permitem confirmar estas tecnologias como sementes de futuro.

Apresenta-se, a seguir, as principais sementes de futuro identificadas no campo do futuro dos novos materiais estratégicos até 2040.

Tendências

- Crescimento da biotecnologia com o surgimento de novos produtos biológicos voltados para o aumento da produtividade agrícola, maior sustentabilidade e controle de patógenos.
- Desenvolvimento de ligas metálicas de alto desempenho.
- Desenvolvimento de materiais para energias renováveis e sistemas de armazenamento de energia.
- Desenvolvimento de metais sustentáveis devido à diminuição do uso de elementos críticos de terras raras e metais refratários.
- Desenvolvimento de materiais baseados em nanotecnologia para aplicação na área médica.
- Desenvolvimento de materiais avançados para sistemas complexos de automação.
- Desenvolvimento de materiais poliméricos mais leves e sustentáveis.

Rupturas

- Produção e uso dos “cristais de tempo” revolucionando áreas como a tecnologia quântica, telecomunicações e mineração.

Referências

CALLAGHAN, G. Advanced materials ‘play vital role’ in developing EU knowledge based economy. The Parliament Magazine. <https://www.theparliamentmagazine.eu>. Dezembro, 2012. Acesso em 20/02/2022.

DANEKAR, R.; NARUNE, A.; PRASAD, E. *Graphene Market: Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2020-2027*. Allied Market Research. Fevereiro, 2021.

DEPARTMENT OF TRADE, INDUSTRY AND COMPETITION. Advanced Materials: Background. <http://www.thedtic.gov.za/sectors-and-services-2/industrial-development/advanced-materials/>. Acessado em 27/03/2022.

ELSEVIER. Advanced Materials and Applications: Tackling New R&D and Engineering Challenges. <https://www.elsevier.com>. Acesso em 20/02/2022.

FEATHERSTON. C.R., O’SULLIVAN E. A review of international public sector strategies and roadmaps: A case study in advanced materials. 2014. Retrieved from https://www.ifm.eng.cam.ac.uk/uploads/Resources/FeatherstonOSullivan_2014_-_A_review_of_international_public_sector_roadmaps-advanced_materials_full_report.pdf. Acesso em 28/03/2022.

INDUSTRY ARC. *Advanced Materials Market – Forecast (2022 - 2025)*. <https://www.industryarc.com>. Acesso em 19/02/2022.

JXSC MINE MACHINERY FACTORY. Top 20 Potential New Materials For the Future. 2020. <https://www.jxscmachine.com>. Acesso em 18/01/2022.

KENNEDY A, Brame J, Rycroft T, Wood M, Zemba V, Weiss C Jr, Hull M, Hill C, Geraci C, Linkov I. A Definition and Categorization System for Advanced Materials: The Foundation for Risk-Informed *Environmental* Health and Safety Testing. *Risk Anal.* 2019 Aug;39(8):1783-1795. doi: 10.1111/risa.13304. Epub 2019 Mar 25. PMID: 30908695; PMCID: PMC6675647.

MACHINEMFG. 20 New Materials with Potential in the Future. <https://www.machinemfg.com>. Acesso em 20/01/2022.

MAINE E, & GARNSEY E. Commercializing generic technology:

The case of advanced materials ventures. *Research Policy*, 35 (3), pag. 375–393. 2006.

MATERIALS 2030 MANIFESTO. Systemic Approach of Advanced Materials for Prosperity – A 2030 Perspective. Fevereiro de 2022.

MAXIMIZE *MARKET* RESEARCH. *Advanced Materials Market: Global Industry Analysis and Forecast (2021-2027) by Material Type, End-Use Industry, and Region*. <https://www.maximizemarketresearch.com>. Acesso em 20/02/2022.

MORDOR INTELLIGENCE INDUSTRY REPORTS. *Global Advanced Ceramics Market (2021 - 2026)*. Índia. 2021. <https://www.emis.com>. Acesso em 21/02/2022.

P&S INTELLIGENCE. *Advanced Materials Market Overview*. <https://www.psmarketresearch.com>. Acesso em 20/02/2022.

PIO, M.; MARCIAL, E.C. et al. Megatendências mundiais 2040: Dimensão *Ciência e Tecnologia*. Relatório Técnico-Científico da Universidade Católica de Brasília (RTC-UCB). Brasília: Universidade Católica de Brasília, 2021.

STARTUS *INSIGHTS*. *Discover Top 10 BioTech Industry Trends & Innovations in 2022*. <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/top-10-biotech-industry-trends-innovations-in-2021/> Acessado em 27/03/2022.

UK TECHNOLOGY STRATEGY BOARD. *Advanced materials key technology area 2008–2011*. Retrieved from. 2011.

WORLD ECONOMIC FORUM. *Advanced Materials: Transformation Map*. <https://intelligence.weforum.org/topics/a1Gb0000001j9vgEA-A?tab=publications>. Acesso em 21/02/2022.

Capítulo 15

Avanços das tecnologias na fronteira do conhecimento: bio e nanotecnologia

Por Marcello José Pio¹

¹ Marcello José Pio, Doutor em Ciências, especialista em estudos de futuro. Responsável pelos estudos de prospectiva do Observatório Nacional da Indústria (CNI), pesquisador convidado do Grupo de Pesquisas e Estudos Prospectivos da UCB (NEP/UCB), e pesquisador associado do Centro Internacional para el Desarrollo Sostenible do Panamá (CIDES).

15.1 Introdução

Além do destaque dos temas relacionados, direta ou indiretamente, aos processos automatizados e digitalizados, na pesquisa para identificação das sementes de futuro no campo da Ciência, Tecnologia e Inovação (Pio; Marcial, 2021) trouxeram sementes associadas aos desenvolvimentos esperados das tecnologias da fronteira do conhecimento, principalmente nos campos da nanotecnologia, biotecnologia e genética. Esses avanços fazem parte de um processo de mudança que é comumente denominado 4ª Revolução Industrial.

De acordo com o Fórum Econômico Mundial (WEF, 2022), a chamada Quarta Revolução Industrial representa uma mudança abrupta na dinâmica da sociedade e no mercado de trabalho. A revolução, em progresso, pode ser considerada um novo capítulo no desenvolvimento humano, no qual os mundos tecnológico, físico, digital e biológico são fundidos de tal forma que geram tanto oportunidades quanto ameaças. Contudo, deve-se alertar que as tecnologias de fronteira exigirão novos e detalhados processos de regulamentação, uma vez que existem tecnologias de ponta que podem significar uma ameaça à sociedade e ao ser-humano. Por exemplo, a fenotipagem digital¹ ou o uso de sistemas de computador para traçar o perfil da saúde física ou mental de indivíduos, levanta problemas consideráveis no tocante à privacidade e uso indevido.

O ritmo, amplitude e profundidade, principalmente nos países desenvolvidos, desse novo patamar tecnológico e organizacional têm obrigado países, empresas e instituições de uma forma geral, a estabelecer novas e audaciosas estratégias de desenvolvimento e aumento de competitividade, como forma de aproveitar ao máximo as oportunidades apresentadas e evitar ameaças à sociedade.

Os avanços das tecnologias na fronteira do conhecimento continuarão em ritmo intenso e acelerado. Como exemplo, pode-se citar o crescimento exponencial de produtos baseados em nano e biotecnologia, com destaque para o oferecimento de novos produtos voltados para o aumento da produtividade agrícola, maior sustentabilidade e controle de patógenos. Na esteira do crescimento das inovações oriundas das ciências biológicas, haverá uma maior compreensão do microbioma

¹ Processo que possibilita a quantificação, etapa a etapa, do fenótipo humano no nível individual em seu próprio ambiente, por meio de aplicativos em celulares e outros dispositivos pessoais (Barnett et al., 2018).

do ambiente, vegetais e animais e sua manipulação para melhoria da qualidade de vida do ser humano, produção animal e agrícola. Somase a isso o aumento das pesquisas em fontes alternativas de alimentos (produção de proteínas a partir de insetos, por exemplo), o que poderá desestruturar as economias de países fornecedores de produtos agropecuários.

O desenvolvimento científico também se notará presente no aumento do desenvolvimento de órgãos artificiais, aumentando a longevidade dos cidadãos, no crescimento das terapias genéticas, na integração de tecnologias e produtos biológicos, medicina de precisão e na telemedicina. A partir desses avanços, a descoberta da cura de várias doenças, inclusive do câncer, e uma possível redução dos custos dos tratamentos são esperados.

De forma mais disruptiva, alguns *experts* acreditam que até 2040, já teremos avançado: (1) na geração da vida de forma artificial; (2) na viabilidade de processos de fotossíntese sintética; (3) no surgimento de novos combustíveis renováveis, revolucionando os transportes como entendemos hoje; (4) no avanço no desenvolvimento e uso de tecnologias baseadas na fusão nuclear; (5) o aumento dos processos de sustentabilidade, modificando os padrões de produção e consumo, tais como: dessalinização das águas; novas formas de produção de proteínas animal (Pio; Marcial, 2021)

Neste capítulo, objetiva-se apresentar as tendências e a caracterização dos mercados para os segmentos de biotecnologia e nanotecnologia, pois pode-se considerá-los a base para uma série de desenvolvimentos de tecnologias que se colocam na fronteira do conhecimento.

A importância dos campos da biotecnologia e nanotecnologia, pode ser destacada, por exemplo, pelo valor dos serviços de pesquisa e desenvolvimento. De acordo com o *Scientific Research And Development Services Market Global Briefing* (The Business Research Company 2021), os principais segmentos de mercado na demanda por serviços de pesquisa e desenvolvimento científico, em 2019, foram: Ciências físicas, da engenharia e da vida, serviços de nanotecnologia, serviços de biotecnologia e serviços de ciências sociais e humanidades. O Gráfico 18.1 apresenta a divisão deste mercado, enquanto a Tabela 18.1 apresenta os valores de mercado de cada um dos segmentos de destaque em 2019.

Gráfico 15.1 – Mercado global de serviços de pesquisa e desenvolvimento científico, dividido por segmento, 2019



Fonte: *Scientific Research and Development Services Market Global Briefing* (2021).

Tabela 15.1 – Mercado global de serviços de pesquisa e desenvolvimento científico, dividido por segmento, em valores de mercado (US\$ bilhões) em 2019

Segmentos de mercado	Fatia do mercado	Valor de mercado
Ciências físicas, da engenharia e da vida	55,40%	444,1
Serviços de nanotecnologia	22,00%	176,5
Serviços de biotecnologia	17,80%	142,9
Serviços de ciências sociais e humanidades	4,80%	38,6

Fonte: *Scientific Research and Development Services Market Global Briefing* (2021).

15.2 O Setor de biotecnologia

A biotecnologia é um dos campos científicos com enormes potencialidades. Suas aplicações têm contribuído para a estruturação de novos sistemas econômicos e sociais, o desenvolvimento dos países, especialmente a partir da manipulação das menores estruturas que compõem os seres vivos (Cadernos Técnicos Setoriais, 2021). O crescimento do mercado de biotecnologia no mundo tem se baseado, fundamentalmente, nas novas demandas em relação ao aumento da demanda por alimentos, desenvolvimentos tecnológicos para proteção ambiental e

aumento da longevidade da população mundial, pressionando o desenvolvimento de novos medicamentos.

No tocante ao aumento da demanda por alimentos, as Nações Unidas estimam que a população global deverá aumentar em mais de 25% nos próximos 30 anos, passando de 7,7 bilhões em 2019 para 9,7 bilhões em 2050 (Eastwood, 2020). Um aumento populacional crescente leva, conseqüentemente, a uma maior demanda por alimentos, tanto para as pessoas quanto para o gado, e pressiona o uso da terra à medida que as áreas urbanas se expandem para terras usadas para agricultura. Essa tendência global oferece grandes oportunidades para a biotecnologia no que tange à busca por aumento da produtividade no campo. A edição de genes, por exemplo, pode produzir variedades de trigo ou milho que podem crescer em condições mais adversas ou produzir mais grãos em uma área menor do que outras variedades de culturas, fornecendo o mesmo valor nutricional. Além disso, o desenvolvimento de pesticidas biológicos tem o potencial de proteger as culturas sem o uso de produtos químicos nocivos ou danos ambientais.

Outro exemplo que mostra a relevância da biotecnologia, como tecnologia habilitadora para o desenvolvimento tecnológico, e sua atuação no desenvolvimento de soluções para redução do impacto ambiental. Essas soluções incluem o desenvolvimento de organismos biológicos projetados especificamente para decompor plásticos, permitindo que sejam reciclados com mais eficiência. A empresa francesa Carbois inaugurou sua primeira fábrica dedicada à quebra do plástico polietileno tereftalato (PET), comumente usado em garrafas plásticas, usando enzimas geneticamente modificadas (Marr, 2021). Soma-se a isso, o desenvolvimento de uma gama mais ampla de produtos biodegradáveis.

Outro campo extremamente importante em que podemos esperar inovações contínuas em 2022 é no desenvolvimento de biocombustíveis. Novos processos de geração de energia limpa a partir de resíduos agrícolas e industriais – e até algas – estão surgindo graças ao avanço da biotecnologia.

A importância do segmento da biotecnologia é ratificada pela sua potencialidade de uso em diversos campos e segmentos econômicos. Desenvolvimento de produtos farmacêuticos, terapias, genética e pesquisas clínicas são exemplos de aplicações de biotecnologia medicinal. Esses campos usam a “caixa de ferramentas” orgânica da natureza para melhorar os resultados de saúde das pessoas. Por exemplo, agora existem mais de 250 produtos de saúde biotecnológicos disponíveis para condições anteriormente intratáveis (Richard, 2021).

15.2.1 O Mercado de Biotecnologia

A empresa Precedence Research avaliou o mercado global de biotecnologia em US\$ 793,87 bilhões em 2021, podendo alcançar US\$ 1.683,52 bilhões até 2030, com um crescimento notável de 8,7% no CAGR no período de 2021 a 2030 (Precedence Research, 2022). De forma mais otimista, a empresa de consultoria Polaris, avaliou o mercado global de biotecnologia em US\$ 1.000,46 bilhões em 2021 com estimativa de crescimento médio de 15,6% (CAGR) até 2029. Nos países da OCDE, estima-se que a biotecnologia poderá contribuir com 2,7% do PIB em 2030, com a maior contribuição *econômica* da biotecnologia na indústria e na produção primária. A contribuição *econômica* da biotecnologia pode ser ainda maior nos países em desenvolvimento, devido à importância desses dois setores para suas economias (OCDE, 2009).

O setor público é um importante provedor de pesquisa em biotecnologia para produção primária tanto em países desenvolvidos quanto em países em desenvolvimento. O financiamento do governo e o suporte técnico oferecido às empresas de biotecnologia estão acelerando ainda mais a progressão do mercado. As políticas governamentais têm buscado atualizar os processos regulatórios de medicamentos, padronizar estudos clínicos, e acelerar o procedimento de aprovação de produtos. Além do mais, as organizações de biotecnologia estão se concentrando no desenvolvimento de sistemas engenhosos e sua utilização colaborando com os membros do mercado. Parcerias significativas com associações subsidiadas pelo governo exibem apoio monetário para auxiliar as atividades de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e novas tentativas de improvisação de produtos.

De acordo com a empresa de consultoria Polaris, os maiores investimentos neste segmento, em 2021, vieram da América do Norte, e acredita-se que a região mantenha seu domínio devido ao aumento do investimento em pesquisa e desenvolvimento. Além disso, espera-se que a presença de grandes *players* do setor na região, juntamente com a crescente conscientização sobre as aplicações da biotecnologia, alimente essa tendência. Outra região de destaque é a Ásia-Pacífico. Estima-se que ocorra um considerável crescimento até 2029 devido não só ao aumento do investimento em pesquisa e desenvolvimento, mas também ao crescimento da infraestrutura de saúde (Polaris Market Research Analysis, 2021).

A empresa ainda aponta, de forma mais específica, que o seg-

mento de engenharia e regeneração de tecidos deteve uma forte participação no mercado em 2021 e deverá crescer consideravelmente nos próximos anos. Além disso, espera-se que o aumento nos tratamentos regenerativos operacionais devido ao aumento dos casos de obesidade e diabetes entre a população impulsione o crescimento da indústria durante o período de previsão. Outro segmento o qual se estima um considerável crescimento é o da nanobiotecnologia, devido, principalmente, à busca por novas formulações de medicamentos. Contudo, existem alguns desafios em relação a este mercado. A pesquisa em biotecnologia ainda é muito cara e geralmente leva vários anos, juntamente com os processos de aprovação. Ainda que as empresas de biotecnologia recebam financiamentos diversos, os preços continuarão sendo uma preocupação premente no equilíbrio lucros e gastos. Além do mais, o aumento da regulamentação poderá exercer novas pressões sobre os custos.

15.2.2 Tendências para o segmento de biotecnologia

Em seu estudo sobre a bioeconomia em 2030 a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2009), estimou que a participação potencial estimada do valor agregado bruto (VAB) total da biotecnologia, nos países membros da OCDE e países da União Europeia que não são membros da OCDE (com exceção da Turquia), poderá ser assim distribuída:

Saúde – 25%.

Produção primária – 36%.

Indústria – 39%.

Diante dessa estimativa, pode-se inferir que a biotecnologia deveria, ou poderia, responder por uma considerável parcela do produto interno bruto (PIB) nos países em desenvolvimento, uma vez que as produções primária e industrial representam uma grande importância para o PIB desses países em comparação com os países da OCDE. Por outro lado, o uso da biotecnologia para desenvolver e fabricar produtos farmacêuticos e dispositivos médicos continuará concentrado nos países desenvolvidos, em função da concentração de capacidades e mercados avançados de pesquisa nos países da OCDE.

Richard (2021) aponta algumas tendências para o segmento de biotecnologia para os próximos anos, tais como a medicina personalizada, na qual com o barateamento dos testes rápidos de sequenciamento

de genoma é possível para os médicos analisarem a genética de cada paciente para identificar riscos médicos em pacientes. Ao basear a inovação médica no sequenciamento genético, os médicos desenvolvem soluções de saúde exclusivas e personalizadas. Um aumento na terapia personalizada é vantajoso para o tratamento geral, pois identifica problemas médicos em sua origem: o perfil molecular e genético do paciente. Por exemplo, o tratamento de câncer personalizado para leucemia (câncer de sangue) chamado terapia com células T CAR,² tem como alvo as células imunológicas, estimulando o sistema imunológico a atingir os tumores.

Na busca por novos medicamentos, o uso das tecnologias avançadas de automação, tais como, as soluções de *big data* e *analytics*, Internet das Coisas (IoT), aprendizado de máquina (*Machine Learnig*), aprendizado profundo (deep learning) e inteligência artificial (AI), permitirá que as empresas de biotecnologia ampliem o escopo e a escala de suas pesquisas e melhorem a eficiência no processo de fabricação, o que reduz o tempo de lançamento de novos produtos no mercado. Com as tecnologias avançadas de automação, será possível analisar rapidamente os dados dos ensaios atuais e revisar os dados de ensaios anteriores. Essa análise e capacidade de combinar vastos conjuntos de dados oferecem a visão necessária para fornecer um diagnóstico mais preciso e, finalmente, criar medicamentos e caminhos de tratamento aprimorados com base na causa das doenças.

O uso da inteligência artificial, por exemplo, permitirá a aceleração do processo de descoberta de medicamentos, por meio da rastreabilidade de biomarcadores e minerando, na literatura científica, novos produtos. Os algoritmos de classificação de imagens permitirão a detecção rápida de diferentes características, como células cancerígenas de exames médicos ou sintomas de doenças de colheitas de imagens de folhas. O uso de deep learning tem permitido a análise de microbiomas, rastrear fenótipos e desenvolver diagnósticos rápidos (StartUs *Insights*, 2021). De acordo com Eastwood (2020), existe um potencial de redução das taxas de falha em cerca de 90% no desenvolvimento de novos medicamentos. Soma-se a isso, a capacidade de executar aplicativos por meio da nuvem, que permite que as empresas armazenem e analisem dados sem a necessidade de adquirir hardwares caros. O uso de *CLOUD* computing auxilia principalmente as *startups* em estágio

² Tratamento de câncer no qual as células T do sistema imunológico de um paciente são geneticamente modificadas para montar um ataque mais eficaz ao câncer.

inicial, as quais, normalmente, possuem limites para as despesas operacionais.

Outro campo que deverá trazer grandes avanços, é a biologia sintética, devido a sua potencialidade de aplicação em vários setores, como indústria, agricultura, saúde e eletrônica. Como exemplo, podemos citar a empresa Twist Bioscience, que fabrica DNA sintético, e que pode ser aplicada a *chips* de silício. A tecnologia permite que as empresas armazenem DNA para sequenciamento de próxima geração (NGS). O NGS traça o perfil da genética de várias populações para ajudar a descobrir a causa de doenças e agilizar a descoberta de medicamentos (Richard, 2021). Além disso, a biologia sintética oferece maior padronização e reprodutibilidade, permitindo a manipulação de organismos no nível de redes gênicas. As empresas desta área possuem desafios que vão desde o *design* computacional de drogas e agricultura celular até soluções baseadas em microbiomas.

O aumento da eficiência da edição de genes, baseado no desenvolvimento de nucleases engenheiradas e, ultimamente, na técnica CRISPR (Clusters of Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats), permitem a ampliação das terapias para o tratamento de distúrbios genéticos, bem como outras condições, com técnicas de edição de genes adicionando, substituindo ou silenciando genes específicos. A modificação do gene direcionado também permite o desenvolvimento de melhores plantas e animais transgênicos (StartUs *Insights*, 2021).

No campo da manufatura, o conceito de biofabricação, que utiliza sistemas biológicos para a produção de produtos médicos e terapias, biomateriais, alimentos e bebidas e produtos químicos especiais, começa a ganhar corpo. As empresas do setor têm buscado o desenvolvimento de diferentes tecnologias de cultura de células, fermentação e produção recombinante para tornar este processo mais barato e escalável. Além disso, a integração entre as tecnologias da indústria 4.0 também permitirá a otimização dos processos produtivos.

A adoção e uso das tecnologias da indústria 4.0 pelas empresas do setor de biotecnologia também pode ser ilustrado pelo uso da manufatura aditiva, o que permite a bioimpressão de uma série de materiais e produtos. As bioimpressoras trabalham com biotintas desenvolvidas a partir de bases biológicas ou biomateriais. No campo das aplicações médicas, é possível o desenvolvimento de enxertos ósseos, cutâneos ou vasculares a partir das próprias células do paciente, levando a processos médicos altamente personalizados. Além do mais, a bioimpressão permite o oferecimento de prototipagens rápidas e desenvolvimento de

biopolímeros.

Outro desenvolvimento que merece destaque é o uso dos conceitos de microfluídica³ no setor para o desenvolvimento de dispositivos *lab-on-a-chip* (LOC).⁴ Esses laboratórios miniaturizados permitem testes rápidos e baratos de doenças infecciosas, facilitando o diagnóstico no ponto de atendimento (PoC). Além do mais, é possível aplicar tal tecnologia no campo das biofarmacêuticas no desenvolvimento de dispositivos *organ-on-a-chip* (OOC),⁵ que simulam a fisiologia de órgãos ou tipos de órgãos em pequenos *chips*. Os sistemas OOC encontram aplicações na triagem de medicamentos e modelagem de doenças (StartUs *Insights*, 2021).

O desenvolvimento das duas últimas tendências apresentadas, bioimpressão e microfluídica, permitirão o crescimento do campo da engenharia de tecidos, com o desenvolvimento de enxertos de tecidos autólogos⁶ para tratamento de queimaduras ou transplante de órgãos, bem como medicina regenerativa.

No setor de alimentos e bebidas, uma grande quantidade de pesquisas está em andamento para reduzir o impacto ambiental do consumo de carne. O desenvolvimento de “carnes artificiais” cultivadas em laboratório pode ser considerada uma das grandes mudanças no consumo de proteínas pelos seres humanos. A “carne” cultivada em laboratório envolve o cultivo artificial de tecidos a partir de células musculares e de gordura e tem o potencial de reduzir enormemente a quantidade de energia, terra e água utilizada pela indústria pecuária, além das emissões de metano, que são reconhecidas como uma das principais causas das alterações climáticas (Marr, 2021).

15.3 O setor de nanotecnologia

De uma forma geral, as estruturas nano permitem aplicações altamente transversais, que vão desde o desenvolvimento de medicamen-

3 Microfluídica é definida como a *ciência e tecnologia* de sistemas que manipulam e estudam pequenas quantidades de fluidos, utilizando estruturas com dimensões de dezenas a centenas de micrômetros (microdispositivos). (WHITESIDES, 2006)

4 Dispositivo que integra uma ou várias funções de laboratório em um único circuito integrado (comumente chamado de “*chip*”) de apenas alguns milímetros a alguns centímetros quadrados para obter automação e triagem de alto rendimento.

5 *Chip* tridimensional multicanal de cultura de células microfluídicas que simula as atividades, mecânica e a resposta fisiológica de órgãos e de completos sistemas de órgãos, um tipo de órgão artificial.

6 São “retalhos” do músculo grande dorsal ou retalho do reto abdominal, que se caracterizam como boas alternativas para os procedimentos de reconstrução.

tos para tratar tumores cancerígenos (sem a necessidade de tratamento à base de radioterapia e/ou quimioterapia), sistemas de armazenamento de energias renováveis e baterias, até dispositivos óptico-eletrônicos, dispositivos semicondutores, biossensores e tintas com características especiais. Atualmente, as principais áreas para o desenvolvimento de aplicações envolvendo nanotecnologia são a médica e a farmacêutica, tecnologia da informação, eletrônica, magnética e optoeletrônica, química energética, materiais avançados e têxtil (Nandini Consultancy Center, 2021).

Na área de saúde, os avanços na nanotecnologia têm gerado benefícios significativos proporcionando avanços no diagnóstico e monitoramento de doenças, implantação e regeneração de tecidos humanos, melhorando a entrega de medicamentos e desenvolvendo ferramentas de pesquisa biomédica. A crescente ênfase no uso da nanociência e nanotecnologia para desenvolver medicamentos eficazes e tratamentos médicos são alguns dos principais fatores que devem impulsionar o crescimento da receita deste mercado.

No campo da energia, as aplicações nanotecnológicas estão melhorando a eficiência da produção de combustível a partir de matérias-primas de petróleo por meio de uma melhor catálise. Também estão possibilitando a redução do consumo de combustível em veículos e usinas de energia por meio de combustão de maior eficiência e menor atrito.

No campo industrial, verifica-se um considerável aumento da aplicação da nanotecnologia no setor de eletrônicos, objetivando, dentre outros benefícios, a otimização do consumo de energia e melhoria da eficiência dos dispositivos de uma forma geral. Além do mais, as propriedades exclusivas das estruturas nano podem ser usadas em uma considerável variedade de produtos, métodos e aplicações para, por exemplo, desenvolver tecnologias de proteção ao *meio ambiente* e o clima, desde o armazenamento de matérias-primas energéticas e água até a diminuição de emissões de gases de efeito estufa e resíduos nocivos. Contudo, deve-se ressaltar que um dos principais obstáculos para o pleno avanço desse mercado são os elevados custos associados ao desenvolvimento de nanopartículas e algumas regulamentações governamentais rígidas.

Em relação aos processos de PD&I no campo da nanotecnologia, é possível estabelecer uma classificação em termos de complexidade tecnológica. Lima (2017) apresenta um modelo para identificar o posicionamento de um estudo ou desenvolvimento no campo da nano-

tecnologia. Esta classificação se baseia no grau de complexidade tecnológica (agregação de tecnologias) para produtos, serviços e processos. A classificação vai do nível I considerado fácil ao nível VI considerado de excelência, e difícil de replicar, pois contém alto nível de nanotecnologia agregada, originalidade e inovação. De acordo com o autor, esta classificação poderá servir como orientação a investidores, pesquisadores, estudantes e até mesmo a imprensa. A seguir, apresenta-se os níveis da classificação proposta, com algumas áreas de aplicação para melhor compreensão.

- Nível 1 – Produtos para assepsia e limpeza; materiais para construção; produtos cosméticos e produtos de perfumaria.
- Nível 2 – Aerogéis; Dispersantes; Agricultura; Filtros; Membranas; Nanoadesivos e Têxteis.
- Nível 3 – distribuição de medicamentos; Ressonância magnética; Nanoenergia; Nanobiomedicina; Nanogenética; Nanossensores básicos; Nanoestruturas.
- Nível 4 – Tecnologia para o cérebro; Mimetismo mecânico; Nano & CRISPR; Nanoantibióticos; Nanoequipamento; Nanoeletrônica; Nanossensores de maior complexidade.
- Nível 5 – Biomimética; Geoengenharia; Montagem molecular; Nanoautomação; Nanomáquinas; Nanorobótica; Nanosimulações.
- Nível 6 – Vida artificial; Materiais inteligentes; Comunicação mental; Nanocontrole; Nanorobots; Nanomedicina; Nanossensores de elevada complexidade; Nanotecidos; Órgãos.

15.3.1 O mercado de nanotecnologia

Este mercado possui um grande potencial de crescimento, devido ao aumento da aplicação da nanotecnologia em vários setores de uso final, como agricultura, energia, manufatura e saúde, entre outros, bem como o aumento do investimento dos principais *players*. Alguns estudos de mercado confirmam esta potencialidade. Para a empresa Allied Market Research, o tamanho do mercado global de nanotecnologia foi avaliado em US\$ 1,76 bilhão em 2020 e deve atingir US\$ 33,63 bilhões até 2030, registrando um CAGR de 36,4% no período 2021-2030 (Allied Market Research, 2021).

Já para a empresa de consultoria Emergen Research, o mercado de nanotecnologia no mundo alcançou o valor de US\$ 2,4 bilhões em 2021 e deve registrar uma receita CAGR de 34,0% no período 2021-

2030. De acordo com essa empresa, em 2021, a América do Norte foi a região com maior destaque, em relação à participação de receita. A rápida taxa de crescimento do mercado norte-americano é atribuída ao aumento dos gastos com P&D dos governos dos países da região, o que está levando ao aumento da demanda por soluções avançadas e inovadoras baseadas em nanotecnologia em vários setores de uso final. Além disso, espera-se que o crescimento das indústrias de tecnologia da informação (TI), saúde e manufatura em países como EUA e Canadá contribua para o crescimento do mercado durante o período de previsão (Emergen Research, 2021).

Contudo, como observado em outros campos do desenvolvimento tecnológico, existem estimativas de que a região Ásia-Pacífico aumente sua participação neste setor, devido, principalmente, à crescente aplicação da nanotecnologia nos setores de alimentos e bebidas, agricultura e saúde. Assim como no setor de biotecnologia, o setor primário (agricultura) está alavancando o desenvolvimento e uso de nanossensores e biossensores para monitoramento de áreas agrícolas, buscando o aumento da produtividade da terra. O setor de saúde, com o uso da nanotecnologia para melhoria de diagnósticos e tratamentos médicos e dispositivos miniaturizados, também deverá ter um papel relevante no crescimento do setor na região.

15.3.2 Desenvolvimentos no setor de nanotecnologia

Devido a sua potencialidade de uso nos mais variados setores econômicos, as tendências no campo nanotecnológico tendem a ser muito amplas e diversificadas. O estudo da Emergen Research (Op Cit) aponta que o segmento de nanossensores representou a maior participação na receita em 2021. Os nanossensores possuem diversas aplicações em vários setores industriais, como agricultura de precisão, tecnologia médica, agricultura urbana, prognóstico, nanobiônica de plantas, diagnóstico e muitas aplicações industriais. Estima-se que a criação de novos nanossensores continuará nos próximos anos.

Outra área de destaque é a nanobioengenharia, principalmente no desenvolvimento de novas formas de conversão de celulose de lascas de madeira, talos de milho, e gramíneas perenes não fertilizadas, em etanol para combustível. Os nanomateriais celulósicos, por exemplo, são projetados para serem menos caros do que muitos outros nanomateriais e, entre outras características, têm uma impressionante relação resistência-peso. Soma-se a isso, o desenvolvimento de arquiteturas e

paradigmas baseados em nanotecnologia, que poderão ser a base para inteligência artificial (IA), ciência da informação quântica (QIS), comunicações sem fio de próxima geração e fabricação avançada (Nandini Consultancy Center, 2021). Alguns outros exemplos de desenvolvimento e inovações no campo da nanotecnologia são elencados a seguir:

- **Uso de nanotubos de carbono na fabricação de asas de aeronaves** – Técnica, desenvolvida por pesquisadores do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), evita a necessidade de vasos de pressão caros e intensivos em energia e pode acelerar a produção de aeronaves e estruturas compostas de alto desempenho, como pás de turbinas eólicas (Nano Magazine, 2020a).
- **Desenvolvimento de nanotubos de carbono para processos eficientes de dessalinização** – Os pesquisadores do Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) criaram poros de nanotubos de carbono (CNT) que são tão eficientes na remoção de sal da água que são comparáveis às membranas de dessalinização comerciais. Esses poros minúsculos têm apenas 0,8 nanômetros (nm) de diâmetro. Em comparação, um cabelo humano tem 60.000 nm de diâmetro (Nano Magazine, 2020b).
- **Desenvolvimento de nanopartículas que eliminam as placas que causam ataques cardíacos** – Cientistas da Michigan State University e da Stanford University desenvolveram uma nanopartícula que corrói – de dentro para fora – porções de placas que causam ataques cardíacos (Nano Magazine, 2020c).
- **Desenvolvimento de nanovacina viral para imunoterapia contra o câncer** – Pesquisadores da Universidade de Helsinque descobriram um novo sistema para gerar um adenovírus oncolítico envelopado artificialmente para direcionar a resposta imune contra o câncer. O ExtraCRAd, uma nova vacina contra o câncer, consiste em um adenovírus oncolítico envolto em um envelope artificial feito de membrana de célula cancerosa. A terapia de vírus oncolítico usa vírus modificados que podem infectar e destruir células tumorais, mas não danificam as células normais (Nano Magazine, 2019a).
- **Desenvolvimento de *microbots* autônomos que reparam materiais sintéticos** – A maioria dos materiais sintéticos, incluindo eletrodos de bateria, membranas poliméricas e catalisadores, se degradam com o tempo porque não possuem mecanismos internos de reparo. Se você pudesse distribuir microrrobôs autônomos den-

tro desses materiais, poderia usar os microrrobôs para fazer reparos continuamente por dentro. Um estudo do laboratório de Kyle Bishop, professor associado de engenharia química, propõe uma estratégia para robôs de microescala que podem detectar sintomas de um defeito de material e navegar de forma autônoma até o local do defeito, onde ações corretivas podem ser realizadas ((Nano Magazine, 2019b).

- **Desenvolvimento de um “olho elétrico” a partir de partículas nano** – Pesquisadores da Georgia State University projetaram com sucesso um novo tipo de dispositivo de visão artificial que incorpora uma nova arquitetura de empilhamento vertical e permite maior profundidade de reconhecimento de cores e escalabilidade em um nível micro (Nano Magazine, 2022a).
- **Desenvolvimento de novo nanogel que permite separar produtos químicos de forma contínua** – Cientistas de nanomateriais da Universidade de Utrecht aprimoraram um nanogel de tal forma que agora ele consegue transportar moléculas individuais de um líquido para outro. De acordo com os pesquisadores, o aumento da área de superfície entre dois líquidos, facilita a troca de produtos químicos. Essa técnica pode tornar os processos industriais mais eficientes em termos energéticos e abrir possibilidades de melhorias em células solares (Nano Magazine, 2022b).
- **Desenvolvimento de nanossensores que detectam vestígios de moléculas** – Pesquisadores da Universidade de Utrecht desenvolveram um novo tipo de sensor, cerca de 500 vezes menor que a largura de um fio de cabelo humano, com uma capacidade sem precedentes de detectar quantidades extremamente pequenas de moléculas. Esses sensores podem ser usados para detectar e identificar vestígios de substâncias como poluentes químicos ou moléculas importantes na medicina. Os sensores fazem uso do espalhamento Raman, um fenômeno que fornece sinais tão únicos para diferentes moléculas que muitas vezes é chamado de “impressão digital molecular” (Nano Magazine, 2022c).
- **Desenvolvimento de Materiais 2D para alavancar as tecnologias verdes** – Pesquisadores da Universidade de Manchester descobriram que micas atômicas finas – o nome dado a um tipo de mineral comum encontrado no solo – são excelentes condutores de prótons. Esse surpreendente resultado é fundamental para o uso de materiais 2D em aplicações como células de combustível e outras tecnologias relacionadas ao hidrogênio (Nano Magazine, 2019c).

Este capítulo buscou apresentar a potencialidade dos campos da biotecnologia e nanotecnologia para o desenvolvimento dos novos produtos e processos, bem como a amplitude de uso de tais desenvolvimentos tecnológicos. Pelas estimativas apresentadas, as evoluções dos mercados de nano e biotecnologias possuem uma considerável potencialidade de crescimento nos próximos anos. De acordo com seus distintos níveis de desenvolvimento, e potencialidade estratégica de uso e de mercado dos produtos e processos baseados nestes dois campos, é possível afirmar que as tecnologias geradas nestas duas áreas são de fato sementes de futuro.

Apresenta-se, a seguir, as principais sementes de futuro identificadas no campo das novas fronteiras do conhecimento até 2040.

Tendências

- Aumento do desenvolvimento e uso de tecnologias digitais para a saúde por meio da fusão entre ciências biológicas, médicas e da computação.
- Crescimento do uso da biotecnologia para o desenvolvimento de produtos voltados para o aumento da produtividade agrícola, maior sustentabilidade e controle de patógenos.
- Intensificação do desenvolvimento de tecnologias que apoiam os processos de ambientais e de sustentabilidade em distintas áreas, tais como projetos habitacionais, ampliação de áreas permeáveis, reuso de água, eficiência energética e energia solar, sistemas locais de tratamento primário de resíduos e esgoto.
- Intensificação de pesquisas e desenvolvimento de tecnologias que buscam detectar precocemente tendências de comprometimento da saúde da população.
- Aumento das pesquisas em fontes alternativas de alimentos (ex. produção de proteínas a partir de insetos).
- Crescimento das terapias genéticas através de CRISPR e cura de várias doenças inclusive câncer.
- Maior compreensão do microbioma do ambiente, vegetais e animais e sua manipulação para melhoria da qualidade de vida do ser humano, produção animal e agrícola.
- Crescimento da integração de tecnologias e produtos biológicos, medicina de precisão e telemedicina com possível redução dos cus-

tos dos tratamentos.

Rupturas

- Avanço no desenvolvimento e uso de tecnologias baseadas na fusão nuclear.
- Viabilidade de processos de fotossíntese sintética.

Referências

ALLIED MARKET RESEARCH. *Nanotechnology Market by Type (Nanosensor and Nanodevice) and Application (Electronics, Energy, Chemical Manufacturing, Aerospace & Defense, Healthcare, and Others): Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2021–2030*. Julho de 2021. Disponível em: <https://www.alliedmarketresearch.com/nanotechnology-market>. Acesso em: 03/04/2021.

BARNETT, I., TOROUS, J., STAPLES, P., SANDOVAL, L., KESHAVAN, M., & ONNELA, J. P. Relapse prediction in schizophrenia through digital phenotyping: a pilot study. *Neuropsychopharmacology* 43, 1660-1666. 2018.

CADERNOS TÉCNICOS SETORIAIS. *Biotecnologia*. Agência de Desenvolvimento do Município de Porto Velho. 1ª edição. Acre. 2021

EASTWOOD. B. 6 Trends in Biotechnology in 2022. Junho de 2020. <https://www.northeastern.edu/graduate/blog/emerging-biotechnology-trends>. Acesso em: 27/03/2022.

EMERGEN RESEARCH. *Nanotechnology Market, By Type (Nanosensors, Nanodevice, Nanomaterials, Others), By Application (Information Technology (IT), Homeland Security, Medicine, Transportation, Food Safety, Others), By End-use, and By Region Forecast to 2030*. Report ID: ER_00587. Março de 2021. Disponível em: <https://www.emergenresearch.com/industry-report/nanotechnology-market>. Acesso em 03/04/2022.

LIMA. E., G.. *Organization and Classification of Nanotechnology: A Pathway to the Standardization of Nanotechnology*. *Nanoscience and Nanoengineering* 5 (3). 2017. pp 31-44. DOI: 10.13189/nn.2017.050302

MARR, B.. *The 5 Biggest Biotech Trends In 2022*. Forbes. Dezembro de 2021. *The 5 Biggest Biotech Trends In 2022* (forbes.com). Acessado em 28/03/2022.

NANDINI CONSULTANCY CENTER. *Chemical Industry Insights*:

Emerging Applications for Nano Technology. Novembro, 2021. Disponível em: <https://www.nandinichemical.com>. Acesso em 03/04/2022.

NANO MAGAZINE. 2D materials show promise for green technologies. Setembro, 2019(c). 2D materials show promise for green technologies — Nano Magazine - Latest Nanotechnology News (nano-magazine.com). Acesso em: 01/05/2022.

NANO MAGAZINE. Advanced viral nanovaccine for cancer immunotherapy. Dezembro, 2019(a). Advanced viral nanovaccine for cancer immunotherapy — Nano Magazine - Latest Nanotechnology News (nano-magazine.com). Acesso em: 29/04/2022.

NANO MAGAZINE. Aircraft wings could be assembled cheaply and easily using nanotubes. Jan, 2020(a). Aircraft wings could be assembled cheaply and easily using nanotubes — Nano Magazine - Latest Nanotechnology News (nano-magazine.com). Acesso em: 30/04/2022.

NANO MAGAZINE. Autonomous *microbots* that repair synthetic materials. Dezembro, 2019(b). Autonomous *microbots* that repair synthetic materials — Nano Magazine - Latest Nanotechnology News (nano-magazine.com). Acesso em: 29/04/2022.

NANO MAGAZINE. Carbon nanotubes developed for superefficient desalination. Setembro, 2020(b). Carbon nanotubes developed for superefficient desalination — Nano Magazine - Latest Nanotechnology News (nano-magazine.com). Acesso em: 30/04/2022.

NANO MAGAZINE. Extremely sensitive nano-sensors can detect trace amounts of molecules. Abril, 2022(c). Extremely sensitive nano-sensors can detect trace amounts of molecules — Nano Magazine - Latest Nanotechnology News (nano-magazine.com). Acesso em: 01/05/2022.

NANO MAGAZINE. Nanoparticle chomps away plaques that cause heart attacks. Janeiro, 2020(c). Nanoparticle chomps away plaques that cause heart attacks — Nano Magazine - Latest Nanotechnology News (nano-magazine.com). Acesso em: 29/04/2022.

NANO MAGAZINE. New promising nanogel separates chemicals continuously. Abril, 2022(b). New promising nanogel separates chemicals continuously — Nano Magazine - Latest Nanotechnology News (nano-magazine.com). Acesso em: 01/05/2022.

NANO MAGAZINE. Using nanotechnology, researchers take step toward developing ‘electric eye’. Abril, 2022(a). Using nanotechnology, researchers take step toward developing ‘electric eye’ — Nano Magazine - Latest Nanotechnology News (nano-magazine.com). Acesso em 01/05/2022.

OCDE. The Bioeconomy to 2030. *Designing a Policy Agenda*. 2009.

www.oecd.org/publishing/corrigenda.

PIO, M.; MARCIAL, E.C. et al. Megatendências mundiais 2040: Dimensão *Ciência e Tecnologia*. Relatório Técnico-Científico da Universidade Católica de Brasília (RTC-UCB). Brasília: Universidade Católica de Brasília, 2021.

POLARIS *MARKET* RESEARCH ANALYSIS. *Biotechnology Market Share, Size, Trends & Industry Analysis Report*. Report ID: PM1011. 125p. Dez. 2021.

PRECEDENCE RESEARCH. *Biotechnology Market*. <https://www.precedenceresearch.com/biotechnology-market>. Acessado em 28/03/2021.

RICHARDS, R. 5 *Biotechnology Trends and Innovations to Watch in 2022*. Setembro de 2021. Disponível em: <https://masschallenge.org/article/trends-in-biotechnology>. Acesso em: 27/03/2022.

THE BUSINESS RESEARCH COMPANY. *Scientific Research and Development Services Market Global Briefing 2021*. Dezembro, 2021.

STARTUS *INSIGHTS*. *Discover Top 10 BioTech Industry Trends & Innovations in 2022*. Disponível em: <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/top-10-biotech-industry-trends-innovations-in-2021/> Acesso em 27/03/2022.

WORLD ECONOMIC FORUM. *Advanced Materials: Transformation Map*. Disponível em: <https://intelligence.weforum.org/topics/a1Gb-0000001j9vgEAA?tab=publications>. Acesso em: 21/02/2022.

Capítulo 16

Exploração espacial

Por Cláudio Olany¹

Espaço! A fronteira final! Estas são as viagens da nave estelar Enterprise. Sua missão contínua é explorar novos mundos estranhos, buscar novas vidas e novas civilizações, ousadamente ir aonde ninguém jamais foi!

Star Trek – The Next Generation

¹ Claudio Olany Alencar de Oliveira, militar da reserva da Força Aérea Brasileira e engenheiro com especialização e experiência em Engenharia de Sistemas Espaciais. Atualmente é COO da Orion AST e CEO na SpaceXC. Trabalhou no Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), no Centro Espacial de Alcântara (CEA), na Comissão de Coordenação e Implantação de Sistemas Espaciais (CCISE) e na Spaceport Brasil como COO.

16.1 Introdução

Na pesquisa para identificação das sementes de futuro no campo da Ciência, Tecnologia e Inovação (Pio; Marcial, 2021), os especialistas consultados consideram que haverá um aumento dos desenvolvimentos tecnológicos aeroespaciais que permitam intensificar uma nova corrida espacial, com consideráveis implicações geopolíticas. Contudo, ampliou-se a visão desse tema para além das disputas geopolíticas pelo espaço ou na busca por recursos naturais em outros planetas ou satélites. Por exemplo, até 2040, é esperado aterrisagens de tripulações humanas em Marte, com posteriores assentamentos experimentais ou de produção de alimentos no espaço (Marte e Lua). Além disso, os *experts* acreditam que a maior acessibilidade aos voos espaciais, fará com que ocorra um domínio privado da exploração espacial. Acredita-se que o crescimento recente do “turismo espacial” por entes privados não se limitará a esse serviço e tenderá a se ramificar na frente de nações em setores como transporte, habitação e no médio prazo, mineração espacial.

Para avançar no processo de compreensão do espaço, os *experts* indicam que haverá uma intensificação dos estudos sobre Exobiologia ou Astrobiologia (estudo da origem, evolução, distribuição, e o futuro da vida no Universo). De forma mais disruptiva, os *experts* também apontam a possibilidade de novos impactos de grandes meteoritos na Terra, trazendo riscos para a humanidade; o crescimento das oscilações lunares e das erupções solares; e a identificação de indícios de vida inteligente fora da Terra.

As viagens espaciais e a exploração de outros corpos celestes são temas que estão em evidência e vêm atraindo investimentos bilionários do setor privado. A última década viu um renascimento do interesse pelas viagens espaciais e pela inovação tecnológica que as impulsiona. Os turistas espaciais bilionários, Jeff Bezos e Richard Branson, foram manchetes em 2021, enquanto Elon Musk está focado no desenvolvimento de lançadores reutilizáveis, no desenvolvimento de uma constelação de satélites, a Starlink,¹ e na colonização de Marte.

Mas por que investir no espaço? As razões são poéticas e práticas. As razões poéticas estão incorporadas na citação no início deste

¹ A Starlink permite chamadas de vídeo, jogos *online*, streaming e outras atividades que exigem alta taxa de dados usando satélites avançados em uma órbita baixa.

capítulo. Tentar entender a misteriosa beleza do universo, “ir corajosamente aonde ninguém jamais foi”, sempre foi um desejo humano fundamental. A face mutante e previsível do céu noturno sempre inspirou nossa imaginação e nos levou a fazer perguntas sobre algo maior do que nós mesmos.

As razões práticas são mais realistas, mas é possível vê-las quando se olha para o céu noturno em uma noite clara. O observador atento do céu pode testemunhar uma visão que apenas as últimas gerações de humanos foram capazes de ver – minúsculos pontos de luz riscando o fundo das estrelas. Eles se movem rápido demais para serem estrelas ou planetas. São satélites. É possível observar a luz do sol brilhando em suas superfícies brilhantes enquanto eles pacientemente circulam a Terra.

Hoje em dia, é inegável o fato de que gradativamente a sociedade vem se tornando mais dependente dos serviços propiciados por sistemas satelitais. As pessoas passaram a confiar cada vez mais em satélites para várias necessidades. Os satélites de navegação fornecem dados de posicionamento e tempo para uma base de usuários em constante expansão, comunicações mundiais instantâneas, sistemas de segurança e defesa, agricultura de precisão, previsão meteorológica diária e mais precisa etc., são exemplos de aplicação da tecnologia espacial que se passou a dar como certa.

Há mais de cinquenta anos, os seres humanos deixaram suas pegadas na Lua. Ao longo desse período, a exploração espacial se concentrou em grande parte em missões tripuladas na órbita baixa da Terra² e na exploração científica não tripulada. Entretanto, nos últimos anos tem se observado um crescimento exponencial nos níveis de financiamento privado, que vem acarretando avanços em tecnologia e que estão renovando o chamado para olhar para as estrelas.

Dessa forma, para delinear as principais tendências desse novo contexto de atividades espaciais, o avanço no investimento de empresas públicas e privadas no espaço, o desenvolvimento de novas tecnologias associadas, bem como os esforços dos governos para se adequar a essa nova onda, este capítulo irá examinar os aspectos mais relevantes e atuais em relação à exploração espacial.

2 Low-Earth Orbit (LEO) – região que se estende do limite superior da atmosfera, aproximadamente 96 km a partir do nível médio do mar, até 2000 km, onde se encontra em órbita a maioria dos artefatos construídos pelo homem.

16.2 NewSpace e a Economia Espacial Global

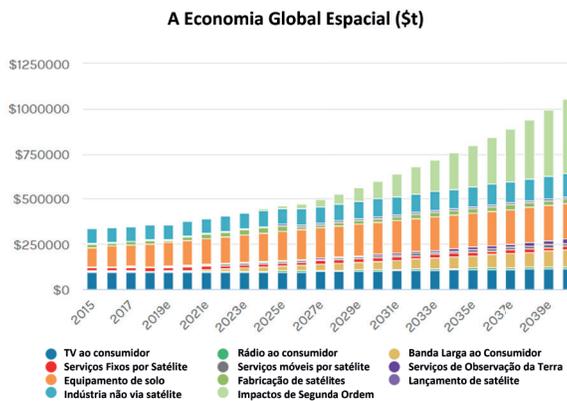
Quando se fala de tendências na área espacial é imprescindível falar de New Space. Este termo, já consagrado na comunidade espacial, se refere ao surgimento da indústria de voos espaciais privados. De acordo com a SpaceTec Partners, os empreendimentos New Space estão se tornando mais comuns, abrangendo áreas como empresas de lançamento privadas, pequenas constelações de satélites ou turismo suborbital, além de outros esforços específicos que visam reinventar a cadeia de suprimentos da indústria espacial tradicional (SpaceTec Partners, 2022).

A economia do New Space é global, empreendedora e acessível. Está cada vez mais diversificada e em expansão com *players* privados em vários subsetores. A economia espacial global foi avaliada em cerca de US\$ 447 bilhões em 2020, 55% a mais do que uma década atrás, de acordo com o The Space Report 2021 Q2. Este é um crescimento verdadeiramente astronômico é possível porque a nova economia espacial está finalmente se conectando à economia maior (Space Foundation, 2021). Os investidores estão finalmente vislumbrando oportunidades de negócios que combinam com seus critérios de investimento, como crescimento orgânico real, economias de escala e caminhos para a lucratividade. O investimento externo em *startups* New Space aumentou de menos de US\$ 500 milhões por ano de 2001 a 2008 para cerca de US\$ 2,5 bilhões por ano em 2015 e 2016. O investimento em *startups* espaciais atingiu um novo recorde de US\$ 7,6 bilhões em 2020, de acordo com o relatório da Bryce Tech: Start-Up Space 2021 (Bryce Tech, 2021).

No curto prazo, o espaço como tema de investimento também provavelmente impactará vários setores além dos poderosos Aeroespacial e Defesa. A Morgan Stanley, uma empresa global de serviços financeiros sediada em Nova York, estima que a indústria espacial global possa gerar receita de mais de US\$ 1 trilhão em 2040, acima dos US\$ 350 bilhões atuais. No entanto, as oportunidades mais significativas de curto e médio prazo podem vir do acesso à Internet de banda larga via satélite (Figura 16.1).

A Morgan Stanley estima que a banda larga via satélite representará 50% do crescimento projetado da economia espacial global até 2040 – e até 70% no cenário mais otimista. O lançamento de satélites que oferecem serviço de Internet de banda larga ajudará a reduzir o custo dos dados, assim como a demanda por esses dados irá explodir (Morgan Stanley, 2020).

Figura 16.1 – A economia global espacial (em trilhões de US\$)



Fonte: Haver *Analytics*, Morgan Stanley Research forecasts (Morgan Stanley, 2020).

16.3 Turismo Espacial e Viagens Espaciais

Em julho de 2021, as empresas Virgin Galactic e Blue Origin realizaram os primeiros voos espaciais com sucesso. Tais fatos marcaram o início dos serviços comerciais para o turismo espacial suborbital. Desde então, centenas de pessoas já reservaram voos suborbitais, o que indica uma elevada demanda pelo serviço.

No entanto, apesar de estar operacional, para que essa demanda real possa se concretizar, irá depender da capacidade dos provedores de serviços em aumentar a frequência de lançamentos e a disponibilidade de slots de voo para os clientes. As plataformas baseadas em balão são as mais próximas de estarem operacionais a curto prazo. Esses *players* têm como alvo não apenas turistas, mas também a realização de eventos, como casamentos. Além disso, o preço do ingresso é inferior ao de outras opções de plataforma de lançamento suborbital, aumentando assim o mercado-alvo total para esses prestadores de serviços. Em contraste, os clientes-chave para voos espaciais orbitais humanos são os governos, que continuam a enviar astronautas para a Estação Espacial Internacional (International Space Station – ISS).

A indústria New Space está de olho no turismo espacial, um mercado em crescimento que está projetado para atingir US\$ 2.548 milhões até 2027, de US\$ 885,4 milhões em 2020, com um CAGR (Compound Annual Growth Rate), ou taxa de crescimento anual composto, de 16,3% durante 2021-2027 (Globe Newswire, 2021).

À medida que empresas, como a SpaceX, testam a tecnologia

de foguetes reutilizáveis para tornar os voos espaciais mais acessíveis para humanos, outras empresas privadas, incluindo Virgin Galactic e Blue Origin, investem no turismo espacial suborbital para levar passageiros até o espaço e voltar. Segundo o relatório “Global Space Tourism Growth Opportunities,” no início, o turismo espacial orbital terá menos passageiros devido ao alto preço do bilhete de cerca de US\$ 55 milhões (Globe Newswire, 2021).

Por enquanto, apenas passageiros super ricos e pesquisadores privados terão acesso ao turismo espacial no futuro imediato. Contudo, há esperança. Espera-se que a longo prazo essas viagens estejam acessíveis aos cidadãos comuns. Alguns especialistas estimam que as viagens suborbitais comerciais substituirão as viagens aéreas de longa distância atendendo eventualmente aos cidadãos comuns.

A SpaceX planeja usar seu foguete Starship para transportar 100 pessoas em um voo ao redor do mundo em poucos minutos. A empresa afirmou que um voo de 15 horas de Nova York para Xangai seria capaz de voar em 39 minutos. De acordo com o UBS, se apenas 5% da média de 150 milhões de passageiros que viajam em voos de 10 horas ou mais pagam US\$ 2.500 por viagem, os retornos podem disparar para US\$ 20 bilhões por ano no valor atual. Um relatório recente do UBS Group AG menciona: “O turismo espacial pode ser o trampolim para o desenvolvimento de viagens de longa distância na Terra atendidas pelo espaço” (UBS, 2021).

16.4 Mineração Espacial

Como discutido anteriormente, a era das viagens espaciais privadas chegou. Contudo, uma dúvida ainda incomoda os especialistas: o que irá acontecer com a indústria espacial comercial mais ampla? Nesse contexto, um dos assuntos que vem sendo amplamente abordado é a “mineração espacial”. Ela tem sido comentada nos últimos anos, mas a percepção de que a tecnologia necessária para buscar metais de terras raras de asteroides distantes está longe de se tornar realidade.

Todavia, não obstante as dificuldades tecnológicas, a exploração espacial está de volta. Após alguns anos de frustração, uma combinação de melhor tecnologia, queda de custos e uma onda de energia competitiva do setor privado colocou as viagens espaciais na frente e no centro das atenções. De fato, muitos analistas, mesmo os mais realistas, acreditam que os desenvolvimentos comerciais na indústria espacial podem estar prestes a iniciar a maior corrida de recursos da história: mineração

na Lua, Marte e asteroides.

Embora isso possa parecer um cenário futurístico, alguns pequenos passos em direção ao objetivo já foram dados. Em 2020, a National Aeronautics and Space Administration (NASA) firmou contratos com quatro empresas para extrair pequenas quantidades de regolito lunar até 2024. Tal fato efetivamente inicia a era da mineração espacial comercial. Se isso prova ser o alvorecer de um gigantesco complemento à mineração na Terra – e mais imediatamente, uma chave para desbloquear viagens espaciais econômicas – ativarás as respostas para uma série de perguntas ainda não respondidas (Gilbert, 2021).

Há uma década, a grande mídia estava cheia de artigos sobre como a mineração de asteroides para extrair metais preciosos, compostos metálicos e até metais de terras raras, que revolucionariam a economia espacial comercial. Havia planos grandiosos para colher fortunas incalculáveis de asteroides próximos da Terra (Near-Earth Asteroids – NEAs), seja utilizando robôs ou mesmo enviando astronautas de empresas privadas comerciais para atuar como mineradores espaciais.

Sabe-se que os recursos do sistema solar parecem virtualmente ilimitados em comparação com os da Terra. Visionários como Jeff Bezos imaginam a indústria pesada se movendo para o espaço e a Terra se tornando uma área residencial. No entanto, à medida que os empreendedores procuram aproveitar as riquezas disponíveis no espaço, o acesso aos recursos espaciais permanece emaranhado nas realidades da economia e da governança.

Partindo do fato de que o espaço não pertence a nenhum país, isso complica os métodos tradicionais de alocação de recursos, direitos de propriedade e comércio. Com a demanda limitada de materiais no próprio espaço e a necessidade de enormes quantidades de energia para trazer os materiais de volta à Terra, a criação de uma indústria viável resultará em grandes avanços em tecnologia, finanças e modelos de negócios. Isso afeta os potenciais benefícios econômicos, científicos e até de segurança que estão por trás de uma competição geopolítica emergente em torno da mineração espacial (Gilbert, 2020).

Segundo a NASA (2022), os Estados Unidos estão emergindo rapidamente como pioneiros, em parte devido ao seu ambicioso Programa ARTEMIS para liderar um consórcio multinacional de volta à Lua. Mas também é líder na criação de uma infraestrutura legal para a exploração mineral. Os Estados Unidos adotaram a primeira lei de recursos espaciais do mundo, reconhecendo os direitos de propriedade de empresas e indivíduos privados sobre materiais coletados no espaço.

E nessa onda, os Estados Unidos estão inspirando outros países. Luxemburgo e os Emirados Árabes Unidos estão correndo para criar marcos legais próprios, com leis tratando de recursos espaciais, na esperança de atrair investimentos para seus entrepostos com estruturas legais favoráveis aos negócios. Enquanto isso, Rússia, Japão, Índia e a Agência Espacial Europeia (ESA) abrigam suas próprias ambições de mineração espacial. Portanto, é possível observar que esses interesses emergentes alteram a antiga estrutura de acordos *geopolíticos* da Guerra Fria. Mais cedo ou mais tarde, serão necessárias novas concertações para facilitar e proteger o investimento privado e garantir a cooperação internacional.

Embora esses cenários ainda possuam muitas incertezas, a mineração espacial promete acelerar muito a exploração espacial e reforçar as economias terrestres. Um aspecto importante que motiva a continuidade dos investimentos, é que as tecnologias e as infraestruturas criadas na busca das competências para o domínio da mineração espacial podem servir à ciência como o reabastecimento orbital, redução dos custos de missão espacial, fabricação em ambiente espacial e, de maneira mais geral, o conhecimento mais profundo de como operar em ambientes espaciais.

Sem dúvida, haverá muitos obstáculos a serem superados. Mas enquanto, há apenas algumas décadas atrás, era fácil classificar a ideia de uma indústria espacial em geral, e mineração espacial em particular, como temas de ficção científica, o sonho visionário definitivamente se transformou. Hoje, está bem claro que a mineração espacial – juntamente com sua exploração e industrialização – em breve fará parte do nosso dia a dia.

16.5 Novas tecnologias e tendências na indústria espacial

Segundo o relatório SpaceTech Trend Report, a indústria espacial está passando a utilizar tecnologias emergentes, incluindo 5G, impressão 3D, *big data*, e tecnologia quântica para tornar as atividades e operações no espaço mais eficientes. Tradicionalmente, muitos serviços, como previsão do tempo, sensoriamento remoto, navegação por sistema de posicionamento global (GPS), televisão por satélite e sistemas de comunicações de longa distância dependem criticamente da infraestrutura espacial. Contudo, novas tendências da tecnologia espacial, como propulsão inteligente, robótica espacial, e gerenciamento de tráfego espacial também estão ganhando força na indústria espacial

emergente (Spacetech, 2021).

De acordo com um novo relatório da Space Foundation, a indústria espacial continuou a crescer no terceiro trimestre de 2021. Este fato apresenta uma primordial relevância pois esses investimentos irão alimentar o futuro da indústria espacial, que segundo o Bank of America pode chegar a US\$ 1,4 trilhão até 2030 (Sheetz, 2020).

Na pesquisa realizada pela SpaceTech, foi analisada uma amostra de 2.162 *startups* e scale ups, gerando as 10 principais tendências altamente relevantes. No Mapa de Inovação (Figura 16.2), é possível obter uma visão geral das 10 principais tendências e inovações que impactam as empresas em todo o mundo (Spacetech, 2021).

Figura 16.2 – Mapa da inovação



Fonte: SpaceTech Trend Report (SPACETECH, 2021).

Baseado no Mapa de Inovação descrito na Figura 16.2, o Mapa da Árvore, apresentado na Figura 16.3, ilustra o impacto das tendências tecnológicas Top 10 da Indústria, segundo o relatório da SpaceTech.

Interpretando a Figura 16.3, *startups* e scale ups estão construindo pequenos satélites como CubeSats e NanoSats para reduzir o custo econômico do lançamento de veículos no espaço. Além disso, constelações de pequenos satélites estão substituindo satélites antigos, de dezenas de toneladas e milhões de dólares mais caros. Outro aspecto é que os satélites LEO possuem uma vida útil menor que os satélites localizados em órbitas mais altas. Isso acarreta uma necessidade de reposição desses satélites num período menor, levando a um maior número de lançamentos de foguetes, ou foguetes capazes de lançar vários satélites

em uma única missão.

Figura 16.3 – Top 10 tendências da indústria espacial e inovações

Top 10 Tendências da Indústria Espacial & Inovações				
Satélites Miniaturizados 24 %	Manufatura Espacial Avançada 22 %	Comunicações Avançadas 10 %	Propulsão Inteligente 7 %	Gerenciamento de Atividades Espaciais 7 %
			Missões Espaciais 7 %	Satélites LEO 4 %
		Gerenciamento de Tráfego Espacial 9 %	Mineração Espacial 6 %	Space Data Dados Espaciais 4 %

Fonte: SpaceTech Trend Report. (SpaceTech, 2021).

As empresas também estão desenvolvendo veículos de lançamento reutilizáveis para reduzir ainda mais o custo de lançamento de foguetes no espaço. Comunicações rápidas e seguras usando satélites incorporam avanços em hardware como antenas, transmissores e receptores.

Com um crescimento esperado no tráfego espacial, as *startups* estão criando soluções viáveis para viagens espaciais e gerenciamento de tráfego, bem como remoção de detritos espaciais. Por fim, os satélites posicionados na órbita terrestre baixa (LEO), juntamente com *big data* e análises, desempenham um papel crucial no sucesso de futuras missões e explorações espaciais.

Os satélites LEO e as constelações multi-satélites estão cada vez mais em uso para comunicação, espionagem, monitoramento da Terra e outras aplicações de imagem. Com grandes volumes de dados desses satélites, há a necessidade de processar, tratar, analisar e gerenciar as informações. As *startups* estão ampliando a capacidade de processamento de dados usando Inteligência Artificial, *blockchain* e *big data* para oferecer soluções de dados seguras para o setor espacial.

Consolidando tudo o que foi apresentado, percebe-se que a inovação, a comercialização e o surgimento da era do NewSpace significaram mais do que nunca que o espaço envolve muito dinheiro. Tomando o setor de óleo e gás como um exemplo comparativo, a indústria do petróleo contribui atualmente com quase 4% da economia global. Em 2019, as receitas totais do setor de perfuração de petróleo e gás che-

garam a aproximadamente US\$ 3,3 trilhões. Em menos de 30 anos, estima-se que o setor espacial rivalize com esse número e valha mais de US\$ 3,0 trilhões até 2050 (Evona, 2021).

Por fim, o espaço provou ser um dos poucos setores em que o crescimento permaneceu resiliente durante a recessão mundial dos últimos anos. Por meio do esforço conjunto de líderes empresariais do setor privado e agências governamentais transformando o que antes era apenas um sonho de viajar entre as estrelas em um mercado global em pleno funcionamento – formando empresas aeroespaciais privadas, lançando foguetes e satélites e até criando oportunidades para viagens espaciais, é possível vislumbrar um futuro próspero e maravilhoso para a humanidade além das fronteiras do nosso planeta.

Apresenta-se, a seguir, as principais sementes de futuro identificadas no campo das novas fronteiras do conhecimento até 2040.

Tendências

- Maior acessibilidade aos voos espaciais.
- Aumento do turismo espacial suborbital.
- Aumento da produção de minissatélites, da manufatura espacial avançada.
- Desenvolvimento de tecnologias de propulsão inteligente.
- Aumento da difusão (aquisição e uso) da robótica espacial, e do gerenciamento de tráfego espacial.
- Crescimento das oscilações lunares e das erupções solares.

Incertezas

- Até 2040 haverá um domínio privado da exploração espacial, expandindo seus serviços para além dos voos espaciais e avançando em setores como transporte, habitação e mineração espacial?
- Até 2040 haverá aterragens de tripulações humanas em Marte, com posterior assentamentos experimentais ou de produção no espaço?

Rupturas

- Meteorito de grandes proporções atingindo a Terra.
- Identificação de indícios de vida inteligente fora da Terra.

Referências

BRYCE TECH. Start-Up Space: Update on Investment in Commercial

Space Ventures, 2021. Brycotech.com, 2021. Disponível em: https://brycotech.com/download.php?f=Bryce_Start_Up_Space_2021.pdf. Acesso em: 04 de abril de 2022.

EVONA. The Space Sector is on track to be bigger than the oil industry. Evona, 2021. Disponível em: <https://www.evona.com/articles/the-space-sector-is-the-new-oil-industry>. Acesso em: 03 de abril de 2022.

GILBERT, A. Mining in Space Is Coming. Milken Institute Review, 2021. Disponível em: <https://www.milkenreview.org/articles/mining-in-space-is-coming>. Acesso em: 06 de abril de 2022.

GLOBE NEWSWIRE. Global Space Tourism *Market* Report 2021: Featuring Blue Origin, Virgin Galactic, Space Perspective, Zero 2 Infinity, Bristol Spaceplanes, SpaceX, Roscosmos, Boeing, Space Adventures, Sierra Nevada. GlobeNewswire, 2021. Disponível em: <https://www.globenewswire.com/news-release/2021/12/07/2347101/28124/en/Global-Space-TOURISM-MARKET-REPORT-2021-Featuring-Blue-Origin-Virgin-Galactic-Space-Perspective-Zero-2-Infinity-Bristol-Spaceplanes-SpaceX-Roscosmos-Boeing-Space-Adventures-Sierra-.html>. Acesso em: 03 de abril de 2022.

MORGAN STANLEY. Space: Investing in the Final Frontier. Morgan Stanley, 2020. Disponível em: <https://www.morganstanley.com/ideas/investing-in-space>. Acesso em: 04 de abril de 2022.

NASA. Artemis Program. Nasa US Government. 2022. Disponível em: <https://www.nasa.gov/artemisprogram>. Acesso em: 06 de abril de 2022.

SHEETZ, M. Bank of America expects the space industry to triple to a \$1.4 trillion *market* within a decade. CNBC, 2020. Disponível em: <https://www.cnbc.com/2020/10/02/why-the-space-industry-may-triple-to-1point4-trillion-by-2030.html>. Acesso em: 02 de abril de 2022.

SPACE FOUNDATION. The Space Report. Spacefoundation.org. 2021. Disponível em: <https://www.spacefoundation.org/2021/07/15/global-space-economy-rose-to-447b-in-2020-continuing-five-year-growth/>. Acesso em: 04 de abril de 2022.

SPACETEC PARTNERS. NewSpace. SpaceTec Partners, 2022. Disponível em: <https://www.spacetec.partners/markets/newspace/>. Acesso em: 05 de abril de 2022.

SPACETECH. Spacetech Trend Report. StratUs *Insights*, 2021. Disponível em: https://www.startus-insights.com/wp-content/uploads/dlm_uploads/2021/06/SpaceTech_Trend_Report_StartUs-Insights.pdf. Acesso em: 03 de abril de 2022.

Parte V – *Econômica*

Por Elaine C. Marcial e Marcello Pio

Na dimensão *Econômica*, mostra os impactos das dimensões anteriores sobre a economia. Se por um lado a economia é o reflexo dos movimentos sociodemográficos, das decisões políticas e do avanço da *ciência e tecnologia*, por outro seus resultados também refletem nessas variáveis. Além disso, o desempenho e modelo econômico adotado também gera impacto direto no *meio ambiente*, ao pressionar os recursos ambientais em prol de um desenvolvimento.

Esta parte do livro está dividida em quatro capítulos, o primeiro fornece um olhar sobre a economia como um todo, mostra como a dívida pública evolui em todo o mundo e impactam o futuro das nações, mostra a evolução da desigualdade de renda, e como vem se comportamento as transformações associadas a lógica de produção e consumo.

O capítulo que trata do tema energia, foca no processo de transição energética vivido e que se estenderá até 2040. Nesse tema, grandes desafios são impostos como a busca por eficiência energética, em especial quando se trata das fontes eólica e solar, da maior participação de fontes limpas na matriz energética e da capacidade de armazenamento de energia. Destaca-se que esse foi um dos temas bastante levantado na pesquisa junto a *experts*.

Segue-se o capítulo que trata da agricultura e alimentação. Se por um lado trabalha-se com a expectativa de crescimento da demanda por alimentos, espera-se também um crescimento da oferta de alimentos, devido aos investimentos científicos e tecnológicos para a área. Cabe entretanto destacar que, com o aumento da população mundial e o aumento das mudanças climáticas diversos desafios terão que ser enfrentados pela área.

Por fim, apresenta-se o capítulo que trata de como será a logística no futuro. Será apresentado como ela se desenvolverá ao redor do mundo e os desafios que essa temática irá enfrentar, seja pela busca por sustentabilidade, pelo avanço da automação e da transformação digital, bem como pela expansão do *e-commerce* impactando diretamente a forma como essa área funciona.

Capítulo 17

Aspectos de continuidade e possibilidades de mudanças na economia mundial

Por Márcio Gimene,¹ Thiago V. Barbosa² e Fausto Oliveira³

1 Márcio Gimene, Economista, Doutor em Geografia, Analista de Planejamento e Orçamento.

2 Thiago V. Barbosa, Economista efetivo do Ministério da Cidadania, Mestre em Relações Internacionais.

3 Fausto Oliveira, Jornalista especializado em tecnologias industriais e infraestrutura.

17.1 Introdução

A velocidade dos avanços tecnológicos e das transformações sociais a eles associadas provoca nas pessoas um misto de euforia e angústias existenciais capaz de gerar dúvidas e novas perspectivas que desafiam as visões de mundo estabelecidas. Viver em meio a permanentes mudanças exige certa dose de coragem e determinação para sairmos das nossas zonas de conforto em busca do desconhecido. Se o futuro é incerto, também são incertas nossas convicções e os modelos mentais que usamos para interpretar os acontecimentos que nos cercam. Somos plenamente capazes, no entanto, de extrair aprendizados do passado para iluminar escolhas do presente que possam contribuir para a construção do amanhã desejado. É com esse propósito que o presente ensaio apresenta aspectos de continuidade e possibilidades de mudanças na economia mundial.

Na contramão das narrativas que deliberadamente confundem as lógicas de funcionamento das finanças públicas e privadas, a primeira seção recorda que no atual sistema monetário permanece válida uma premissa verificada em diversas sociedades nos últimos cinco milênios: para que o soberano possa recolher na forma de tributos as moedas que ele mesmo cria, é preciso primeiro colocar essas moedas em circulação adquirindo bens e serviços da população local. Dessa constatação resulta a conclusão de que déficits públicos são necessários para que as famílias e empresas tenham orçamentos superavitários. Logo, está ao alcance da população de cada país monetariamente soberano mobilizar os recursos disponíveis com vistas à construção do futuro coletivamente vislumbrado.

A segunda seção do ensaio aborda as transformações vislumbradas no sistema interestatal e as suas possíveis conexões com as desigualdades de renda intra e internacionais. Argumenta-se que caminhamos para a consolidação de um mundo com dois sistemas: de um lado, as instituições concebidas e geridas a partir dos interesses dos Estados Unidos e dos seus aliados *geopolíticos*; de outro lado, a China liderando a formação de um bloco de países que buscam construir suas próprias trajetórias de desenvolvimento, eventualmente em parceria com as potências do Atlântico Norte, mas sem a elas se subordinar. A forma como

cada país defenderá seus interesses nesse complexo sistema interestatal definirá as possibilidades de elevação da qualidade de vida das suas populações.

A terceira seção argumenta que as transformações esperadas nas lógicas de produção e consumo tendem a ocorrer sem que haja uma reversão da lógica de concorrência entre países na corrida pelo domínio de setores de alta tecnologia. Consequentemente, aspirações por maior compartilhamento e complementaridade de estruturas produtivas tenderão a ser obstadas por iniciativas empresariais, eventualmente com apoio dos governos nacionais, que visem promover concentração de marcas e patentes, bem como reservas de mercado e de direitos de uso de tecnologias proprietárias. A aceleração dos investimentos na fronteira tecnológica, associada a uma adição de demanda mundial por itens providos por setores distantes da fronteira, pode indicar uma retomada de processos de industrialização e intensificação de cadeias produtivas locais e regionais sob um novo marco *geopolítico* que ainda é desconhecido. Uma sessão conclusiva encerra o ensaio.

17.2 Dívida pública e construção do futuro

Desde a criação dos bancos centrais, cerca de duzentos anos atrás, o sistema monetário se tornou mais sofisticado, mas seus conceitos básicos continuam os mesmos dos últimos cinco milênios: para que o soberano possa recolher na forma de tributos as moedas que ele mesmo cria, é preciso primeiro colocar essas moedas em circulação adquirindo bens e serviços da população local. Não é possível ocorrer o contrário, pois neste caso as famílias e empresas não teriam como obter a moeda estatal para devolvê-la na forma de tributos ao governo que a criou.¹

Um princípio básico de contabilidade nos ajuda a entender como governos monetariamente soberanos podem operar permanentemente com déficits públicos: todo ativo financeiro corresponde a um passivo financeiro. Em uma economia fechada, isso significa que o superávit obtido pelo setor público corresponde a um déficit no setor privado, e vice-versa. Quando se inclui o setor externo na análise, o raciocínio é o mesmo: considerando como “resto do mundo” os governos, as empresas e as famílias dos países com os quais um determina:do país possui

¹ Lerner (1943, 1947), Wray (2003, 2015), Mitchell, Wray e Watts (2019), Dalto et. al., (2020) e Kelton (2020).

relação financeira, temos a seguinte identidade:

$$\text{balanço privado doméstico} + \text{balanço público doméstico} + \text{balanço externo} = 0$$

Ou seja, ao menos um desses setores precisa apresentar despesas maiores do que receitas para que algum outro setor apresenta receitas maiores do que despesas. Como não é possível que esses três setores apresentem receitas maiores do que despesas em um mesmo período, para que haja aumento da riqueza financeira privada (isto é, das famílias e empresas) é preciso que haja um déficit equivalente no setor público (supondo que o balanço externo esteja equilibrado, para simplificar).

É por isso que superávits devem ser evitados no setor público, caso não se pretenda provocar deliberadamente o empobrecimento das famílias e empresas. E é também por isso que os governos monetariamente soberanos devem operar com orçamentos deficitários, de forma a permitir que o conjunto das famílias e empresas situadas em seu território possam operar com orçamentos superavitários. Como mostrado na Tabela 17.1, todas as grandes economias mundiais funcionam sistematicamente com dívidas públicas.

Tabela 17.1 – Países selecionados. Dívida Bruta/PIB (%) – 2019-2026

País	Projeções							
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Japão	235,4	254,1	256,9	252,3	250,8	251,0	251,3	251,9
Itália	134,6	155,8	154,8	150,4	149,4	148,6	147,5	146,5
Estados Unidos	108,5	133,9	133,3	130,7	131,1	131,7	132,5	133,5
Espanha	95,5	119,9	120,2	116,4	116,2	116,3	116,8	117,5
França	97,6	115,1	115,8	113,5	114,6	115,4	116,2	116,9
Reino Unido	85,2	104,5	108,5	107,1	109,4	110,5	111,2	111,6
Brasil	87,7	98,9	90,6	90,2	91,7	92,4	92,6	92,4
Canadá	86,8	117,5	109,9	103,9	100,2	96,9	96,4	89,7
Índia	74,1	89,6	90,6	88,8	88,1	87,3	86,3	85,2
China	57,1	66,3	68,9	72,1	74,5	76,6	78,5	80,1
Alemanha	59,2	69,1	72,5	69,8	68,0	65,9	63,4	60,9
Rússia	13,8	19,3	17,9	17,9	17,7	17,8	17,5	17,5

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Fundo Monetário Internacional – Monitor Fiscal, outubro de 2021.

Isso é possível porque nas sociedades onde existe crédito é o gasto agregado que determina a renda e o nível de emprego da economia. Nessas sociedades, as decisões de investimento dos agentes privados dependem de que as suas expectativas de rendimentos futuros sejam maiores do que os rendimentos proporcionados pelas taxas de ju-

ros vigentes. Como o investimento privado depende fundamentalmente de dois fatores (eficiência marginal do capital $>$ taxa de juros), ambos relacionados à incerteza, trata-se de uma decisão volátil, o que significa que a produção, a renda e o emprego também são instáveis.²

É o que se nota claramente nas recessões econômicas. Quanto menos as pessoas investem e consomem, mais escassas se tornam as oportunidades de vender mercadorias lucrativamente, tornando o investimento privado menos atraente, o que reforça a tendência recessiva. A redução nas rendas das famílias e empresas tende a estimular situações de instabilidade social e política, o que aumenta a imprevisibilidade do ambiente econômico e torna ainda mais valiosa a liquidez da moeda. Como a inversão do ciclo econômico passa pela remobilização da capacidade ociosa formada durante a recessão, a realização de novos investimentos privados acaba sendo adiada.

É justamente por isso que o Estado precisa atuar de forma anticíclica. A política *econômica* precisa garantir que o emprego e a produção não caiam de forma multiplicada e que, ao contrário, possam crescer, atenuando os problemas de desemprego e multiplicando a produção e a renda a partir da ampliação de gastos públicos que contribuam de forma efetiva para a melhoria das condições de vida da população. O Estado pode e deve agir assim, pois não tem o objetivo de lucro da iniciativa privada e, por isso, não precisa comparar a eficiência marginal do capital com a taxa de juros.

É por meio dos gastos públicos, das compras governamentais, dos critérios e das condições de financiamento público, das contrapartidas exigidas dos agentes privados, das atividades de regulação e fiscalização, do sistema tributário e das demais formas de ação estatal que a construção de um projeto de desenvolvimento soberano se torna realidade.

A ampliação dos gastos públicos em economias que estejam operando abaixo do pleno emprego possibilita multiplicar a renda e gerar novos empregos, o que é crucial para mudar o pessimismo dos agentes privados. Com os níveis de renda e de emprego subindo, os investidores privados passam a ter maior expectativa de demanda pelos seus produtos. Isso eleva a rentabilidade esperada dos seus investimentos, que passa a superar a taxa de juros e assim o investimento privado se amplia. O resultado é a retomada do crescimento econômico, ampliando a renda e gerando novos empregos, o que permite inclusive

2 Kalecki (1943), Keynes (1964) e Minsky (2013).

ampliar a arrecadação tributária.

Isso não significa que governos monetariamente soberanos devam gastar sem planejamento. Para que um gasto público seja funcional, isto é, para que ele cumpra adequadamente uma determinada função definida pelo planejamento governamental, ao menos três aspectos precisam ser considerados: o custo de oportunidade, os possíveis impactos inflacionários e as restrições externas.³

O custo de oportunidade se refere aos benefícios que deixam de ser usufruídos quando gastos que não atendam necessidades concretas da população mobilizam recursos escassos (força de trabalho, recursos naturais, tecnologias, capacidade de gestão e divisas internacionais) que poderiam ser melhor empregados em outras atividades.

Sobre os impactos inflacionários, é preciso que se tenha clareza que controlar a demanda agregada não é suficiente para controlar a inflação. O lado da oferta é tão ou mais importante que o da demanda quando se trata de controle da inflação, pois abarca os diferentes tipos de inflação de custos: a inflação de salários; a inflação de lucros; a inflação importada; e a inflação de gargalos setoriais de oferta.⁴

Sobre as restrições externas, é preciso reconhecer que nem todos os bens e serviços demandados em uma determinada economia podem ser adquiridos com a moeda nacional. Exceto o país emissor da moeda-chave internacional (atualmente os Estados Unidos da América), todos os demais enfrentam algum grau de restrição para contratar bens e serviços que não estejam disponíveis para venda na sua própria moeda.

É importante pontuar, no entanto, que a elevação do endividamento público pode apresentar diferentes resultados. Caso a ampliação dos gastos públicos impulse um novo ciclo de crescimento econômico mundial, é de se esperar que haja um aumento das pressões políticas de setores empresariais, no sentido de reduzir as despesas primárias necessárias para viabilizar as políticas públicas direcionadas aos segmentos sociais mais vulneráveis. Nos países em que tais pressões orientam a gestão macroeconômica, é provável que a incipiente retomada do crescimento econômico seja obstada pela insuficiência de demanda agregada. O resultado previsível neste caso será a ocorrência do que os economistas costumam chamar de “voo de galinha”, isto é, um processo de crescimento econômico efêmero, que não se sustenta ao longo do tempo.

3 Gimene, Conceição e Modenesi (2022).

4 Davidson (1978, 2003) e Modenesi (2005).

Contudo, pode-se vislumbrar ao menos duas trajetórias disruptivas relacionadas à elevação do endividamento público: aumento da dívida externa e revisão de prioridades para o gasto público.

Em um ambiente intrinsecamente instável – no qual o dólar fiduciário é a moeda-chave, a finança de mercado liberalizada e globalizada é dominante e a financeirização é o padrão sistêmico de gestão da riqueza – os governos que se endividam predominantemente em moedas emitidas por outros governos podem vir a enfrentar maior vulnerabilidade diante de conjunturas internacionais adversas. Choques externos podem levar à ocorrência simultânea de crises cambiais e bancárias, resultando em racionamento de crédito, situações de pânico e comportamentos de manada. Para evitar que isso ocorra, é desejável que os governos evitem contrair dívidas denominadas em moedas que não sejam emitidas por eles mesmos.

Em relação à revisão de prioridades para o gasto público, cabe destacar que a destinação dos orçamentos públicos tende a ser um reflexo da correlação de forças políticas vigentes em cada sociedade. Quando se trata de direcionar recursos públicos para apoiar bancos e grandes empresas privadas, ou para perdoar grandes sonegadores e devedores de obrigações tributárias e trabalhistas, as preocupações dos grupos economicamente mais influentes em relação à necessidade de austeridade fiscal costumam ser relaxadas. No entanto, é possível que em alguns países ocorram mudanças estruturais na correlação de forças políticas internas. Se e onde isso ocorrer, as famílias que concentram maior patrimônio e renda podem vir a ser menos contempladas pelas despesas públicas e mais exigidas em termos de arrecadação tributária.

17.3 Sistema interestatal e desigualdades de renda

O sistema político mundial é caracterizado pela competição e a guerra (convencional e não convencional) entre seus Estados e economias nacionais. Nesse sistema não existem países satisfeitos; todos estão sempre se propondo a aumentar seu poder e sua riqueza, e, nesse sentido, todos são expansivos – em particular as grandes potências que já ocupam o topo da hierarquia do poder e das riquezas mundiais.⁵

Todas as grandes potências foram expansivas desde o momento de consolidação de seus centros de poder internos e utilizaram suas economias nacionais como instrumento de poder a serviço de suas es-

5 Fiori (2007, 2014).

estratégias políticas. Isto é, definiram as grandes metas de suas economias nacionais e de sua própria política *econômica* a partir de objetivos estratégicos situados no campo do poder. Por isso, a luta dessas potências está diretamente ligada à expansão contínua dos seus territórios econômicos supranacionais e ao controle monopólico de novos mercados.

Cada Estado procura explorar, em benefício exclusivo ou principal dos seus nacionais, os pólos de crescimento situados no seu território, ou que conquistou fora dele. Para tanto, cada Estado utiliza os meios de que dispõe para afastar os concorrentes das vantagens que pretende extrair do controle exclusivo de determinados polos. Afinal, as grandes unidades econômicas (empresas, indústrias, polos) estão entre os principais instrumentos de prosperidade dos Estados nacionais; e o crescimento dessas unidades depende de importações, exportações, centros de aprovisionamento e mercados exteriores ao território nacional, que são conquistados ou manipulados por meio de ações políticas e militares.⁶

Nesse ambiente altamente competitivo, o livre jogo das forças do mercado tende a aumentar as desigualdades de poder e riqueza. Isso acontece porque, a partir de uma aglomeração inicial verificada em determinada localidade, ocorrem economias de escala e externalidades tecnológicas, atraindo novos recursos que reforçam circularmente a expansão do mercado. O primeiro empreendedor cria facilidades para a implantação de novos empreendimentos, contribuindo para o sucesso das iniciativas subsequentes. Essa causalção circular tende a reforçar assimetrias regionais, já que o crescimento de uma região produz efeitos propulsores, mas também efeitos regressivos nas áreas periféricas. Por isso certas localidades apresentam crescimento contínuo, enquanto em outras prevalece a estagnação ou mesmo a regressão. Como a complexidade tecnológica é a força dinâmica nesse processo, os países e as regiões periféricas tendem a permanecer especializados nas atividades de baixas complexidade e valor agregado, caso não adotem providências duradouras e suficientes para diversificar e elevar a complexidade de suas atividades produtivas. A atuação governamental se faz necessária justamente para potencializar os efeitos propulsores e mitigar os efeitos regressivos das atividades e dos fluxos econômicos.⁷

6 Perroux (1967).

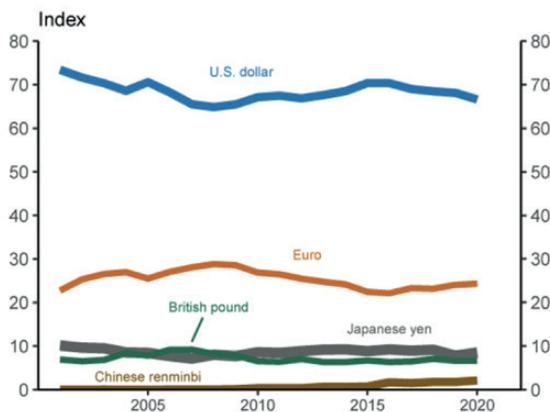
7 Myrdal (1972).

17.3.1 Sistema interestatal

O sistema interestatal passa por grandes rupturas basilares para análise de futuro. A tendência é de estabelecimento de um mundo com dois sistemas. A clivagem sistêmica pode ser maior que a observada durante a Guerra Fria. Trata-se de rupturas no sistema de direito internacional e de arbitragem da Organização das Nações Unidas (ONU), de sistemas de pagamento, de moedas de curso internacional, sistemas de tecnologia da informação (TI) – IOS/Android e o Harmony Operating System chinês –, mídias sociais – Youtube, Youku chinês e VK russo, Whatsapp, Telegram russo, e Wechat chinês –, serviços de TV a cabo, produção audiovisual, sistema de operação militar e georreferenciamento – GPS,⁸ Glonass russo e Beidou chinês –, alocação de reservas internacionais pelos governos etc.

Como mostra o Gráfico 17.1, a tendência de queda do Dólar como moeda usada no comércio internacional é lenta. Somando-se ao Euro, estas moedas respondem por mais de 75% do total.

Gráfico 17.1 – Índice de uso de moeda internacional



Fonte: FED, EUA.

Nota: O índice é uma média ponderada da participação de cada moeda nas reservas cambiais divulgadas globalmente (peso de 25 por cento), volume de transações cambiais (25 por cento), emissão de dívida em moeda estrangeira (25 por cento), moeda estrangeira e créditos bancários internacionais (12,5 por cento) e passivos cambiais e bancários internacionais (12,5 por cento). Disponível em: <https://www.federalreserve.gov/econres/notes/feds-notes/the-international-role-of-the-u-s-dollar-20211006.htm>. Disponível em: <https://asia.nikkei.com/Politics/International-relations/China-and-Russia-ditch-dollar-in-move-toward-financial-alliance>. 2020.

⁸ GPS – Sistema de Posicionamento Global.

No entanto, a China vem trabalhando, junto com outros países, para reduzir a dependência técnica e política em relação ao Dólar, ao Euro e ao sistema SWIFT.⁹ Sistemas de pagamento e compensação em moeda local, como o SML¹⁰ que envolve o Peso Argentino/Real e o acordo China-Rússia, já vinham ganhando espaço e se aceleraram depois da onda de sanções contra Rússia e China na década de 2010.

Contudo, por trás dessa tendência lenta e de longo prazo, a radicalização da política de sanções dos Estados Unidos e seus aliados tende a criar uma ruptura para um quadro de rápida transformação do poder do Dólar. Duas possibilidades, que podem avançar paralelamente, são a emergência do Yuan e a criação de uma cesta lastreada em moedas e *commodities*.

Os alinhamentos entre países e pressões dependerão de condições objetivas. Países que sucumbem a pressões em detrimento do pragmatismo de interesses nacionais entram em um novo ciclo colonial e de expropriação de riquezas. Alguns poucos países – a exemplo de Brasil, Argentina, África do Sul, Venezuela e Índia – poderão pendular entre os dois sistemas, mas a pressão de alinhamento tende a ser grande.

Os protagonistas do novo sistema interestatal são o bloco da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN), capitaneado por Washington, que seguirá dominando sistemas de pagamento e reserva de valor, mas em zonas de influência reduzidas; e a cooperação China-Rússia e sua influência asiática, incluindo o Irã, que se consolida em termos de comércio, com crescente interdependência e integração de cadeias produtivas e infraestrutura. Os outros alinhamentos são incertos e definirão em última instância os rumos *geopolíticos*: Brasil, Índia, Indonésia, Argentina, Turquia e potências energéticas do Oriente Médio e África. Não há como pensar o futuro sem considerar o papel que esses países ocuparão no sistema interestatal. Outra variável de equilíbrio envolve o grau de autonomia política e *econômica* de países OTAN líderes da União Europeia, ou seja, França, Alemanha e Itália.

Mesmo se prevalecer a lógica de um mundo com dois sistemas, e de rupturas de tratados internacionais (caso do Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares), os países detentores de tecnologia nuclear tendem a se juntar para impedir que novos países obtenham esta

9 SWIFT (abreviatura para Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunication, ou Sociedade para Telecomunicações Financeiras Interbancárias Mundiais) é um sistema que tem como principal função permitir a troca de informações bancárias e transferências financeiras entre as instituições financeiras.

10 Sistema de Pagamentos em Moeda Local (SML).

tecnologia. O país que negociar uma entrada neste seletivo grupo poderá aspirar perspectivas geopolíticas mais soberanas.

Não deve ser descartada uma crise ou o colapso do sistema de patentes a partir de rupturas de tratados internacionais, o que abre uma janela de oportunidade para países com capacidade científico-tecnológicas consolidadas para um processo de *catch-up*, a exemplo de Rússia, Brasil, Irã, Turquia e Índia. Contudo, como no caso de acordos contra armas nucleares, a questão de patentes pode unir os líderes dos dois blocos, visando sua manutenção. Por mais radical que seja a ruptura entre os blocos, esses e outros casos específicos apontam que haverá áreas de cooperação inter-blocos, o que inclui os sistemas de navegação aérea e naval.

De todo modo, a discussão centro-periferia não perde pertinência no mundo atual, e o conceito de imperialismo segue relevante e dependerá de fatores regionais e da inserção de cada país nas cadeias produtivas regionais e globais. Aqui, o elemento central é como cada país irá aproveitar rupturas para internalizar setores de maior valor agregado e com alta elasticidade renda.

Na América do Sul, a realocação de cadeias produtivas pode gerar ganhos de renda do trabalho a partir da retomada de setores industriais de baixa e média tecnologia e os setores de serviços a eles atrelados. Brasil e, de alguma maneira, Argentina, podem lograr ganhos em setores de alta tecnologia. Pode ocorrer uma retomada de dinâmicas regionais de comércio, tendo em vista as capacidades técnicas e riquezas naturais em termos de minerais e energia. Neste caso, haverá pressões dos Estados Unidos (EUA) para ocupar os ramos mais rentáveis dessas cadeias regionais. Porém, a concorrência com o bloco asiático pode levar aquele país a negociar com países Sul-americanos setores em que os EUA renunciarão a suas históricas rendas extraordinárias baseadas na arbitragem política, monetária e militar. Não sem a pressão de setores internos daquele país, sempre ávidos por rendas extraordinárias oligopolistas e mesmo de capital primitivo.

Na Ásia, as principais cadeias produtivas já estão articuladas em torno da China. Cadeias que foram primeiramente organizadas pelo Japão, ao estender cadeias produtivas para países de menor custo de mão de obra, de forma a garantir competitividade. Mesmo com vasta mão de obra, a China se utilizou desse legado e deve manter essas cadeias produtivas asiáticas em funcionamento. O bloco liderado pela China detém a maioria da população mundial, de modo que a potência asiática terá que ceder pontos importantes de cadeia produtiva para garantir a

estabilidade político-social em seu entorno de influência. O Japão nunca teve tal obrigação.

A África entra como tabuleiro de disputa e influência entre os dois grandes blocos. Lá o *soft power* chinês se contrapõe à traumática memória colonialista consolidada na Conferência de Berlim (1884-85), nas guerras de descolonização de meados do século XX e das armadilhas da dívida e guerras por procuração do século XXI, todas perpetradas por países membros da OTAN. Mas as sementes linguísticas e a forma de apropriação de elites locais, para além da voga de países OTAN nas guerras civis do continente, podem manter países africanos sob influência do bloco.

A tendência em curso é de retomada de incentivos nacionais a setores industriais, de baixa, média e alta tecnologia. A onda de globalização liderada pelos países membros da OTAN, iniciada nos anos 1980, deixou de ser do interesse nacional deles quando a China começou a ter ganhos maiores que o dos criadores do movimento. Um marco neste sentido foi a prisão de Meng Wanzhou, executiva da Huawei, no Canadá em 2018. De fato, por um tempo, a globalização se sustentou no interesse das corporações transnacionais daqueles países, mas não necessariamente de seus governos.

Com a crise de abastecimento que veio com a pandemia, houve uma ruptura de entendimento entre especialistas e governantes sobre a onda de globalização. Nada que não tivesse sido alertado por especialistas críticos à globalização desde seu início. Mas a crise levou a um consenso mais amplo, que se desdobra em uma nova geração de políticas públicas definidas para renacionalização de cadeias produtivas pelos países do bloco OTAN.

Uma das linhas de renacionalização será puxada pelo aumento do gasto militar, especialmente no G10,¹¹ uma via de expansão de gasto público e de reindustrialização, com grande incentivo ao conteúdo nacional no gasto militar em países industrializados. Uma questão que se abre com a onda de renacionalização das cadeias produtivas será a capacidade dos Estados nacionais controlarem empresas e a riqueza dos bilionários. A renacionalização de cadeias produtivas traz a possibilidade de aumento da capacidade dos governos nacionais taxarem o lucro das multinacionais e as grandes fortunas, poder que ficou enfraquecido

11 Apesar do nome, 13 países fazem parte do G10: Alemanha, Bélgica, Canadá, Estados Unidos, França, Itália, Japão, Países Baixos, Reino Unido, Suécia, Suíça, Espanha e Austrália.

no auge da globalização. Porém, os problemas da desigualdade e do fortalecimento do poder político e econômico dos bilionários dentro de cada país consistem em fatores de resistência.

17.3.2 Desigualdades de renda

Desde a década de 1980 podem ser identificadas duas trajetórias opostas: um movimento de redução de desigualdades entre países; e um movimento de ampliação da desigualdade dentro dos países.¹²

O movimento de redução das desigualdades entre países tem como motor a dinâmica de crescimento, via industrialização e serviços, dos países asiáticos. Na América Latina, com a desindustrialização de Brasil e Argentina, a dinâmica recente foi de dependência de ciclos de preços de *commodities*, com conseqüente manutenção dos trabalhadores desses países um pouco abaixo da média per capita da renda mundial. Enquanto a África segue bem abaixo dessa média. Ainda assim, a desigualdade de renda entre as populações de diferentes regiões segue sendo significativa.

Na América Latina, há incertezas quanto a capacidade dos países internalizarem pontos de cadeias produtivas que retêm mais valor e de retomar, via reindustrialização, a produção de bens de elasticidade-renda elevados. Por exemplo, o movimento de Bolívia e México de nacionalizar a extração de minérios estratégicos, como o lítio, e a produção de baterias de última geração para a frota veicular elétrica mundial, o que pode criar cadeias produtivas, especialmente no âmbito de países do Mercosul. Nesta hipótese, a renda dos países tenderá a ultrapassar a média mundial per capita, em uma dinâmica parecida com a observada para o leste asiático. Uma incerteza para os países Sul-americanos envolve a margem que o sistema internacional dividido dará para uma diplomacia pendular, onde possam negociar políticas industriais nacionais e regionais para complexificação do parque produtivo.

Já a desigualdade dentro dos países se ampliou.¹³ Está em curso um movimento que se auto reforça a partir da acumulação de três fatores: concentração de renda, concentração de riqueza e concentração de poder político. Nas Américas e Europa, o movimento é de achatamento da classe média e descolamento dos 1% mais ricos, com certa estabilidade da renda e riqueza retida pelos 50% mais pobres. Nos países que

12 Milanovic (2016).

13 Milanovic (2016).

se industrializaram na Ásia houve um triplo movimento de ganho de renda entre os 50% mais pobres, os 40% seguintes (classe média), mas com descolamento dos 1% mais ricos. Qual o limite para tal descolamento em âmbito planetário?

A principal incerteza em relação à desigualdade dentro dos países é a continuidade do achatamento da classe média nas Américas e Europa. Isso porque, embora haja uma tendência para essa dinâmica, podemos considerar que haja um limite político para tal trajetória. Incerteza que se desdobra em duas possibilidades principais: ao se atingir algum patamar de achatamento da classe média, o processo pode se estabilizar; ou revoltas e pressões políticas podem acontecer, reivindicando a volta do padrão de bem-estar da classe média nos anos dourados – pós-guerra até a década de 1970. A Europa é o continente mais *propenso* a criar essa ruptura em favor da retomada do poder da classe média, com influência sobre as Américas. No leste asiático, com destaque para a China, a classe média está em expansão, o que dilui muitos atritos sociais e políticos. Mas também há incerteza quanto à trajetória de descolamento do 1%. Até agora, o resultado é o descolamento em nível mundial dos super ricos e pressão sobre as classes médias dos países de alta e média renda.

O lado mais claro e nefasto da pobreza é a fome. Houve uma trajetória de redução da fome no início do milênio, puxada pelo crescimento econômico e redução da pobreza em países asiáticos e sul-americanos. O total de famintos estabilizou em meados da década de 2010 e apresentou aumento no contexto da pandemia e do aumento de preço de alimentos, que deve se consolidar nos próximos anos em um patamar mais elevado. Contudo, grandes rupturas nas cadeias produtivas de alimentos podem gerar episódios agudos de fome. Há décadas a produção de alimentos é capaz de alimentar toda a população mundial, sendo a fome uma questão relacionada à renda.

Contudo, a produção de alimentos tende a um momento de crise no curto prazo e a ser elemento de pressão geopolítica. A trajetória recente de inflação de alimentos apresenta certa inércia, que pode se alongar por esta década, o que reforça a pressão sobre países produtores em relação a insumos e destino de vendas. Boicotes e sanções já criam forte impacto no abastecimento de insumos. A revolução verde de meados do século XX criou uma agricultura intensiva em insumos, com longas cadeias logísticas e de valor globais. A agricultura transgênica e suas sementes estéreis criaram dependência em relação a países produtores. Os principais produtores de sementes transgênicas são

EUA, União Europeia (EU) e China. Esta última vem fazendo esforços para internalizar biotecnologia agrícola e virar um grande ator global, movimento evidenciado pela compra da Syngenta pela ChemChina em 2017, por US\$ 43 bilhões.

Outro fator de degradação social em gestação é a onda de flexibilização de leis trabalhistas e o fenômeno dos trabalhadores autônomos de aplicativos, conhecido como uberização. A onda afetou mesmo trabalhadores no Atlântico Norte, mas mobilizou especialmente trabalhadores mais jovens do sul global. Nesta idade, apresentam alta resiliência a situações de sobretrabalho e poucos problemas de saúde. Entretanto, essa conta será paga – ganhando força a partir das décadas de 2030 e 40 – pelos sistemas públicos de saúde e bem-estar (previdência, assistência social, emprego garantido, transferências de renda), o que demandará uma nova abordagem sobre o gasto público e os pactos sociais a ele subjacentes. Existem aí duas trajetórias possíveis para a concentração de renda em nível nacional, regional e mesmo global: uma de aumento de poder político dos trabalhadores pela pressão contra a pauperização, e outra de reprodução da pobreza em níveis elevados de renda básica universal ou outros esquemas de transferência de renda, em que o cidadão perde poder político.

Além disso, tanto a dinâmica de pobreza quanto de desigualdade dependerá, entre outros fatores, de migrações e de como os países receptores irão tratar o assunto. A onda de migrações para a Europa nas últimas duas décadas teve forte influência das guerras que os países do continente se envolveram via OTAN. A precariedade de imigrantes de zonas conflagradas e choques interculturais estão por trás da tendência de fortalecimento de movimentos de extrema direita e comportamentos xenofóbicos, com impactos eleitorais que podem continuar a dar maior representatividade parlamentar a tais movimentos, inclusive no Parlamento Europeu. Já nos EUA, a tendência consolidada neste milênio é de oscilação quanto à receptividade de imigrantes, a depender do partido no poder, com a manutenção da repressão e choques culturais, que variam entre os estados da federação. Outros fatores que geram deslocamentos populacionais são fome e pobreza, desastres naturais e eventos climáticos; sendo que a pobreza se apresenta como multiplicador dos outros fatores.

Ainda em relação à receptividade das ondas migratórias, há incertezas quanto ao mercado de trabalho e ao bem-estar social no bloco do Atlântico Norte. Movimentos de reindustrialização a partir da nacionalização de cadeias produtivas podem criar demanda por mão de

obra de qualificação média fornecida por imigrantes, o que causaria uma maior receptividade aos imigrantes.

20.4 Transformações nas lógicas de produção e do consumo

Ao que tudo indica, os países centrais na economia mundial seguirão estimulando os investimentos privados, públicos e mistos em setores de alta tecnologia, visando o alcance e o domínio de fronteiras tecnológicas. As recentes corridas por domínio e hegemonia em determinados setores torna verossímil pensarmos em uma concentração em setores como microeletrônica, computação quântica, aeroespacial, novos materiais, novas fontes de energia, serviços avançados de tecnologia da informação, farmacêutica nanomolecular sintética, farmacêutica biomolecular e de base genética, controle de doenças e saúde pública, equipamentos médico-hospitalares e outros.

É pouco provável, contudo, que essa massa de investimentos em inovação e novas fronteiras tecnológicas se dê sob uma orientação de compartilhamento e complementaridade. Os recentes acontecimentos *geopolíticos* apontam para maior probabilidade de concentração de marcas e patentes, reservas de mercado e de direitos de uso de tecnologias proprietárias. Também apontam nesta direção os crescentes movimentos de consolidação em diversos mercados industriais de ponta.

As economias de serviços digitais, que já vieram de uma forte consolidação nas últimas décadas, deverão tender ainda mais à uma associação geopolítica, principalmente depois que o evento de guerra verificado na Ucrânia mostrou empresas como Meta, Google e Twitter filtrando politicamente conteúdos informacionais. Como resposta, o eixo eurasiático que provavelmente se consolidará ao longo deste século prepara sistemas complexos de serviços digitais alternativos, a fim de oferecer plataformas de negócio e uso a suas populações sem que os dados passem por infovias controladas pelos países hegemônicos do Ocidente.

Estes movimentos de consolidação e retorno à proximidade das grandes corporações aos Estados nacionais pode acelerar a inovação, dado que a história aponta uma forte correlação entre pesquisa científica e tecnológica de vanguarda e investimentos públicos, quase sempre resultando em produtos e serviços de tecnologia avançada explorados comercialmente por empresas sediadas nos países investidores. Deve-se confirmar o prognóstico de que o século será marcado por uma intensa transição digital nos paradigmas de produção e consumo, sem que

isso necessariamente aprofunde a globalização nos moldes como ela se apresentou desde o fim do século passado.

É improvável que o mundo passe por uma virtualização completa da base produtiva, dado que a própria ONU prevê que a população do planeta deverá chegar aos 9,7 bilhões em 2050.¹⁴ É muito provável que este intenso acréscimo de demanda por itens de consumo essenciais, infraestrutura básica e urbanização, alimentos e vestuário, educação e serviços de saúde, entre outros, leve a novas rodadas de crescimento em bases tecnológicas universalmente conhecidas. É possível que indústrias e setores pertencentes a um paradigma técnico-econômico do passado recobrem importância, a exemplo de materiais tradicionais como cimento, metais, plásticos e vidros; fibras vegetais e seus subprodutos; máquinas, equipamentos e instrumentos de precisão não digitais; química básica e intermediária.

Esta tendência parece indicar a persistência de dois grandes níveis de estrutura produtiva em estado de coexistência, porém sem tanta probabilidade de complementaridade. Ao contrário, a aceleração de setores de fronteira tecnológica, associado a uma adição de demanda mundial por itens providos por setores distantes da fronteira, pode indicar uma retomada de processos de industrialização e intensificação de cadeias produtivas locais e regionais sob um novo marco *geopolítico* que ainda é desconhecido. Caso isso se confirme, é possível que novas etapas de especialização produtiva em países de renda média aconteçam em base a tecnologias distantes da fronteira, o que poderia levar a uma divisão internacional do trabalho com ainda mais assimetrias econômicas, apesar de um possível esforço de recuperação de espaço por países hoje em estado de regressão produtiva estrutural.

Contudo, as emergências ambientais já verificadas apontam para uma alta probabilidade de limitar, ou senão, condicionar estes processos. É provável que haja uma reorientação das bases produtivas no sentido de menor geração de externalidades ambientais. Novos marcos de regulação deverão ser implementados em muitos países, possivelmente levando as economias a um processo de adaptação em processos produtivos de maneira a continuar crescendo sem reproduzir externalidades negativas. Esforços pontuais, a exemplo do projeto de coprocessamento e redução do fator clínquer na indústria cimenteira (ABCP, FICEM e outras entidades), deverão ser generalizados. Assim também com a in-

14 Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/83427-populacao-mundial-deve-chegar-97-bilhoes-de-pessoas-em-2050-diz-relatorio-da-onu>.

dústria automotiva e sua transição rumo a veículos elétricos. Se a soma destes esforços pontuais será capaz de produzir uma resposta efetiva à problemática ambiental em escala mundial, é uma incerteza relevante que poderá permanecer assim por um período ainda relativamente longo.

Cabe, contudo, estabelecer na equação de probabilidades a condicionante energética. Mesmo se a possibilidade de um mundo pós-petróleo se confirmar – o que é ainda incerto –, a matriz de geração de eletricidade hoje adotada indica que muitos destes esforços pontuais serão compensados negativamente por emissões a montante na cadeia produtiva.

Não se descarta que blocos políticos hegemônicos adotem iniciativas horizontais no sentido de conter o avanço do aquecimento global. Assim, é possível que haja a implementação de impostos internacionais, financiamento de serviços ambientais, ou mesmo sanções, relacionados às práticas de gestão de recursos naturais. Neste contexto, países cuja estrutura produtiva esteja fortemente dependente de exploração de recursos naturais podem ver-se limitados ou constrangidos a uma adaptação orientada por poderes externos, com potenciais impactos em seus planejamentos socioeconômicos de mais longo prazo e indicadores sociais, como níveis de emprego e renda, entre outros.

É provável, portanto, que mesmo diante de um refluxo da globalização nos moldes em que foi concebida, o comércio internacional e as inserções de países no concerto mundial se vejam ainda mais afetados pela revolução no tratamento e gestão de informação.

Por um lado, parece irreversível a tendência às maiores exigências de controle sobre procedência de produtos, rastreabilidade para fins de verificação de externalidades, obtenção de certificações e comprovação para acesso a mercados estratégicos. Isto levará necessariamente a um aprofundamento do uso de dados em massa (*big data*) na gestão da economia capitalista global.

Por outro lado, as recentes instabilidades nas cadeias globais de logística e comércio mostraram como as economias nacionais podem ver-se fragilizadas mesmo sob um regime de alto controle informacional. Assim sendo, parece provável que atenção equivalente será dada a um planejamento não estritamente digital das logísticas de fornecimento e abastecimento. As cadeias de suprimento deverão passar por uma reanálise por critérios de interesse nacional e regional, possivelmente deixando em segundo plano as potencialidades técnicas e gerenciais oferecidas pela digitalização. Caso esta reanálise se generalize, é possí-

vel que os eixos comerciais adotem medidas protetivas de suas cadeias de suprimento por meio de implementação de sistemas informacionais próprios, o que pode levar à criação de sistemas concorrentes na codificação internacional de bens e serviços, sacrificando a linearidade do tecido informacional global em nome de maior segurança no suprimento físico de bens e serviços essenciais.

Este aspecto leva a considerações acerca do uso dos mares e das vias aéreas e espaciais como ativo logístico internacional. A recente crise do comércio naval – com a desorganização dos fluxos da marinha mercante, concentração de navios e contêineres em poucos portos, forte alta no frete marítimo e oligopólio de armadores –, parece reforçar a probabilidade de refluxo na globalização tal como foi concebida. Se associamos este novo cenário de logística internacional inflacionada e restrita com uma probabilidade de maior militarização de oceanos e espaço aéreo, pode haver uma tendência ainda mais forte à regionalização dos elos comerciais, o que pode impactar níveis de crescimento econômico, indicadores sociais domésticos de diversos países e importação de tecnologias não digitais.

O aumento na incerteza relativa a suprimentos em escala mundial, e seus potenciais impactos nos ciclos econômicos domésticos, poderá levar cada vez mais países a implementarem agendas de prevenção contra novos possíveis choques. Assim, a agenda de políticas de desenvolvimento produtivo local e regional, visando à recomposição de cadeias produtivas perdidas para o agora moribundo processo de globalização, poderá ser fortalecida ao longo dos próximos anos. Esta é uma tendência que conta com um caso exemplar a seguir, que é a China e seus planos de governo para gerar, manter e aprofundar o desenvolvimento econômico em bases tecnológicas simultaneamente médias, médias-altas e avançadas.

Instrumentos de compras governamentais, novas regulações de mercados, políticas de intervenção em setores econômicos e estímulos vários à pesquisa e desenvolvimento de soluções tecnológicas para a base produtiva deverão se generalizar. Assim, as perspectivas abertas por sistemas públicos já instituídos poderão ser aproveitadas economicamente, a exemplo do potencial que o Sistema Único de Saúde oferece ao Brasil em termos de vetor de industrialização e sofisticação produtiva, ou do potencial que o orçamento do Departamento de Defesa dos Estados Unidos oferece àquele país em termos de encomendas de novas tecnologias e promoção de novos mercados e empresas.

Em seu funcionamento interno nas sociedades, países ou regi-

ões, o capitalismo digital baseado em dados deverá seguir se fortalecendo. Embora seja possível pensar em ruptura de suas hegemonias globais, como exposto acima, dentro de seus blocos de influência as grandes empresas de tecnologia de escala internacional deverão aumentar e aprofundar a digitalização de processos de produção e consumo.

São variadas as consequências que advirão dessa tendência. Uma consequência de alta probabilidade é o estabelecimento de formas ainda mais aprofundadas de comércio digital de varejo, o que poderá determinar uma reconfiguração dos espaços urbanos, uma reconfiguração ainda mais forte da oferta de empregos, a intensificação das pressões sobre serviços postais e logísticas internas, maior uso de transporte aéreo em relação ao marítimo para comércio internacional e possível perda de empresas comerciais domésticas em função de oferta estrangeira massificada via internet.

É de se esperar que nesse contexto de menores barreiras de entrada ao mundo do empreendimento digital, as atuais tendências de estímulo ao empreendedorismo se aprofundem. O número total de pequenas e microempresas deverá aumentar, o que também refletirá as transformações esperadas na oferta de empregos e nos modelos de contratação mais flexíveis e frequentemente informais. A expressiva quantidade de pequenos negócios em funcionamento simultâneo pode, contudo, encontrar problemas de competitividade. É possível que, por serem pequenas demais em um ambiente competitivo pulverizado, a maioria destas empresas venha a enfrentar dificuldades de sobrevivência, o que por sua vez poderá em um momento futuro, colocar pressão sobre a oferta de empregos das economias não digitais.

É provável que este movimento de generalização do empreendimento individual ou de mínimo porte, associado à difusão da internet como meio de produção, ajude a dar escala aos grandes negócios de provimento de plataformas e/ou serviços digitais. Já é comum que o pequeno empreendedor estabeleça seu negócio *online* sobre bases compradas de grandes empresas, e isto deverá se aprofundar. É possível que o setor de microempreendedores digitais gere economias de escala para os grandes *players* sem, no entanto, se diferenciar da concorrência entre os menores e com isso caírem em um ambiente de concorrência via preço onde a competitividade e as condições de crescimento podem se deteriorar.

Outra consequência possível da intensificação dos comércios digitais é a concorrência com os comércios convencionais. Não é certo que a massa de ofertantes digitais vá necessariamente tirar do mercado

concorrentes convencionais. Mais provável é que os concorrentes convencionais completem sua transição digital com maiores capacidades e resultados, refletindo no comércio digital suas posições, contribuindo assim para um ambiente de comércio eletrônico igualmente concentrado.

Frente este novo ambiente de negócios do varejo, é provável que haja uma intensificação dos serviços financeiros como parte fundamental do ecossistema econômico. A atual revolução nos sistemas de pagamentos – que no Brasil adotou uma posição de vanguarda com o sistema PIX –, deve se intensificar com o advento e popularização de criptomoedas e a internacionalização de empresas financeiras. Em associação com o capitalismo de dados que deverá se aprofundar e consolidar, é possível que esta tendência leve a uma profunda aproximação entre consumidores e sistema de crédito, uma relação que provavelmente será de crescente dependência e que poderá gerar ainda maiores fragilidades estruturais no futuro.

É possível que, em resposta à intensa digitalização financeira das transações comerciais do dia a dia, se aprofundem as respostas sociais que busquem menor exposição digital e financeira. Mercados alternativos, baseados em economias paralelas distantes das conexões com as grandes marcas e corporações, podem se servir da internet e suas transações virtuais de outras maneiras. Assim como pode acontecer que uma quantidade crescente de consumidores se veja forçado a adotar mercados paralelos de bens e serviços onde os métodos convencionais não digitais e não conectados ao sistema de crédito lhes possibilitem a sobrevivência.

Esta possibilidade não deverá se restringir a setores sociais desprovidos de recursos, dado que tendências já perceptíveis como o consumo consciente – exigências relativas a procedência, métodos corretos de produção etc. – contribuem também para o ressurgimento de relações de produção e consumo locais e não dependentes de interfaces digitais e de crédito para se realizar.

Isso pode acarretar um incremento do comércio direto (H2H, ou human to human), em adição aos tradicionais modelos de B2C (*business to consumer*). Ambos se referem à demanda pulverizada de consumidores individuais e famílias. No que diz respeito ao comércio B2B (*business to business*), tendo em vista a probabilidade de crescimento acelerado nas atividades empresariais de larga escala distantes das fronteiras tecnológicas (como mencionado acima, em função de uma perspectiva de aumento populacional expressivo até a metade do

século), avaliamos que sua tendência é de manutenção de taxas moderadas de crescimento. Porém, o B2B deve sofrer as injunções colocadas pela digitalização, pelas restrições à globalização do livre comércio colocadas pela geopolítica e os choques sobre as cadeias de suprimento e suas possíveis consequências de realocação da produção. Estas ocorrências poderão conviver com o crescimento na atividade interempresarial, que tende a se adaptar com razoável agilidade a estas novas realidades.

A reconfiguração urbana deste processo, contudo, parece inevitável. O uso de espaços comerciais das grandes cidades passará por profundas transformações. Entre elas, devem ter destaque a redução do número de lojas físicas; a criação de espaços de escolha (showroom) para facilitação da venda *online* em substituição a formação de redes de lojas; a transição do uso de grandes espaços comerciais para o setor de serviços urbanos; e a criação de novos espaços de entretenimento e diversão em substituição a comércios.

Este processo se refletirá também na lógica de produção de condomínios de apartamentos nas grandes cidades, e no mercado imobiliário em geral. É provável que se aprofunde o atual processo de produção de edifícios com grande número de apartamentos de baixa metragem, oferecendo serviços que permitem transformar a unidade residencial em quase nada mais que um dormitório. O uso misto dos novos condomínios também deverá ser uma realidade que se aprofunda, em especial agregando a destinação de unidades residenciais para uso de sistemas de locação rápida baseados na economia digital (por exemplo, AirBnb).

A prevalência do conceito de uso sobre o de propriedade deverá se intensificar. Identifica-se esta tendência no fenômeno relatado no parágrafo anterior e seus indicativos de futuro, assim como também na circulação da população pelas cidades. É muito provável que novos formatos e relações de uso de automóveis e outros veículos continue a moldar a vivência cotidiana dos espaços urbanos, o que demandará esforços governamentais de ordenamento territorial urbano com infraestrutura de maior qualidade.

É possível, no entanto, que um movimento reverso se inicie e intensifique. As migrações de retorno poderão marcar o esvaziamento de centros urbanos e uma melhor distribuição da população pelos territórios nacionais. Isso demandará a criação de núcleos regionais economicamente dinâmicos, o que por sua vez depende da fina sintonia na execução de políticas econômicas e produtivas, boa governança local, oferta de serviços de qualidade (privados e públicos) e investimentos

em infraestruturas econômicas e sociais.

A provável aceleração das reconfigurações urbanas também deverá ser marcada pela implementação de ainda mais sistemas digitais sobre as infraestruturas das cidades. O movimento já iniciado de “cidades inteligentes” poderá se aprofundar sob uma lógica de parcerias público-privadas e com cada vez mais impacto de interesses econômicos sobre a gestão pública, ao passo que processos de desburocratização e aceleração de trâmites comerciais devem se intensificar. Uma possibilidade é o aumento de interfaces financeiras na intermediação geral do cidadão com a cidade, a exemplo de sistemas de pagamento por serviços de transporte, o que deverá corresponder a um uso mais intenso (e maior dependência em relação a) de celulares como instrumento de identificação, realização de processos e trâmites, pagamento e mobilização.

O excesso de exposição do ser humano a sistemas digitais deverá gerar efeitos díspares, de acordo com a estratificação social e etária dos usuários. Mas parece ser claro que o tempo gasto por indivíduo por dia em interação com objetos e sistemas do meio digital aumentará ao longo das próximas décadas. É de se notar, contudo, a possibilidade de retorno ao uso de telefones não inteligentes, que voltaram a ser fabricados. Este é um evento que pode significar uma reserva de espaço cultural e social fora dos ambientes digitais. Em um contexto possível de extenuação social, depressão e enervamento coletivos, em associação à exposição digital excessiva, este pode ser um ponto de atenção futura para fins de tratamentos psicológicos e psicossociais, bem como políticas culturais e educacionais.

No horizonte temporal mais imediato é possível, no entanto, que haja um aumento do individualismo como cultura e padrão de comportamento. Os fracassos econômicos e políticos das principais democracias ocidentais durante a globalização intensificada a partir da década de 1980 são lidos por uma enorme massa de jovens e jovens adultos como uma prova de que as instituições vigentes não são capazes de atender às suas necessidades. Isso poderá levar a uma intensificação do individualismo, por meio de lemas e ideologias que vêm se tornando comuns na internet, tais como o anarco-capitalismo, o minarquismo, o neo-conservadorismo e outras similares. A este processo deve corresponder uma perda na capacidade social de articular meios de construção coletiva visando a solução de problemas comuns, ou seja, uma menor capacidade de cooperação em larga escala.

As crescentes desigualdades sociais dentro de economias de

grande porte, assim como as intensas desigualdades regionais e internacionais, indicam uma alta probabilidade de que os povos hoje marginalizados continuem a exercer demanda consumidora para usufruir do padrão de vida observado nas classes médias e abastadas de todo o mundo. Assim sendo, é improvável que em um mundo com população crescente, o consumo de massas entre em refluxo.

Nesse contexto, é improvável que a ideia de decrescimento econômico seja aceita pelas populações dos países periféricos. Assim sendo, mesmo a hipótese de regiões super ricas, a exemplo dos países nórdicos, adotarem políticas de de-crescimento por razões de sustentabilidade socioambiental, deverá encontrar severas limitações nas políticas de longo prazo já estabelecidas por estas potências visando conquista de mercados internacionais e exportação de marcas, tecnologias e patentes. O decrescimento, em tal hipótese, seria uma ideia para consumo interno das sociedades avançadas, sem reflexo relevante na economia mundial.

Isso não significa, contudo, enfraquecimento das tendências de transição da matriz produtiva no sentido de melhores práticas, economias de escala não quantitativas e de busca por uma economia baseada em conhecimento. Tais tendências deverão se confirmar ao longo do século. Porém, a adaptação *econômica* e técnica do capitalismo de hoje a estas tendências deverá manter vivos os paradigmas do lucro empresarial, das contas nacionais baseadas em cálculos de PIB, da livre concorrência sob algum grau de regulação, e do consumo de massas. Reunidas estas condições, as adaptações aos novos paradigmas técnico-produtivos não deverão representar uma transição sistêmica rumo a um capitalismo do não crescimento, ou a qualquer outro modelo. O horizonte temporal próximo aponta com maior probabilidade para um novo capitalismo e uma nova indústria, permanecendo o paradigma do crescimento.

20.5 Conclusão

Vimos que nas sociedades onde existe crédito é o gasto agregado que determina a renda e o nível de emprego da economia. É justamente por isso que o Estado precisa atuar de forma anticíclica. O Estado pode e deve agir assim, pois não tem o objetivo de lucro da iniciativa privada e, por isso, não precisa comparar a eficiência marginal do capital com a taxa de juros. A ampliação dos gastos públicos em economias que estejam operando abaixo do pleno emprego possibilita multiplicar a renda

e gerar novos empregos, o que é crucial para mudar o pessimismo dos agentes privados. O resultado é a retomada do crescimento econômico, ampliando a renda e gerando novos empregos, o que permite inclusive ampliar a arrecadação tributária. Ressaltamos, no entanto, que isso não significa que governos monetariamente soberanos devam gastar sem planejamento. Para que um gasto público seja funcional, isto é, para que ele cumpra adequadamente uma determinada função definida pelo planejamento governamental, destacamos que ao menos três aspectos precisam ser considerados: o custo de oportunidade, os possíveis impactos inflacionários e as restrições externas.

Argumentamos também que a redução das desigualdades de renda está diretamente relacionada à forma como cada país defenderá seus interesses diante da polarização entre as duas maiores potências mundiais: Estados Unidos e China. A tendência em curso é de retomada de incentivos nacionais a setores industriais, de baixa, média e alta tecnologia. A crise de abastecimento que veio com a pandemia reforçou a importância de uma nova geração de políticas públicas definidas para renacionalização de cadeias produtivas. Pontuamos que uma questão que se abre com a onda de renacionalização das cadeias produtivas será a capacidade dos Estados nacionais controlarem empresas e a riqueza dos bilionários. A renacionalização de cadeias produtivas traz a possibilidade de aumento da capacidade dos governos nacionais taxarem o lucro das multinacionais e as grandes fortunas, poder que ficou enfraquecido no auge da globalização. Porém, os problemas da desigualdade e do fortalecimento do poder político e econômico dos bilionários dentro de cada país consistem em fatores de resistência.

Por fim, ponderamos que as transformações nas lógicas de produção e consumo não deverão significar uma ruptura nas disputas interestatais. A aceleração dos investimentos em setores de fronteira tecnológica, associado a uma adição de demanda mundial por itens providos por setores distantes da fronteira, pode indicar uma retomada de processos de industrialização e intensificação de cadeias produtivas locais e regionais sob um novo marco *geopolítico* que ainda é desconhecido. Caso isso se confirme, é possível que novas etapas de especialização produtiva em países de renda média aconteçam em base a tecnologias distantes da fronteira, o que poderia levar a uma divisão internacional do trabalho com ainda mais assimetrias econômicas, apesar de um possível esforço de recuperação de espaço por países hoje em estado de regressão produtiva estrutural.

Referências

CHANCEL, L.; PIKETTY, T.; SAEZ, E.; ZUCMAN, G. World Inequality Report 2022. Nova Iorque: ONU, 2022.

DALTO, F.; GERIONI, E.; OZZIMOLO, J.; DECCACHE, D.; CONCEIÇÃO, D. Teoria Monetária Moderna – MMT: a chave para uma economia a serviço das pessoas. Fortaleza: Nova Civilização, 2020.

DAVIDSON, P. Money and the Real World. London: Macmillan, 1978.

_____. Post Keynesian Macroeconomic Theory. Cheltenham: Edward Elgar, 2003.

FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2021. Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all. Roma: FAO, 2021.

FIORI, J.L. Formação, expansão e limites do poder global. In FIORI, J.L. O Poder americano. Petrópolis: Ed. Vozes, 2007.

_____. História, estratégia e desenvolvimento: para uma geopolítica do capitalismo. São Paulo: Boitempo, 2014.

GIMENE, M.; CONCEIÇÃO, D.; MODENESI, A. Soberania monetária e os objetivos fundamentais da República. Cadernos da Reforma Administrativa nº 40. Brasília: Fonacate, 2022.

KALECKI, M. Political aspects of full employment. The Political Quarterly, 1943.

KELTON, S. The deficit myth: Modern Monetary Theory and the birth of the people's economy. New York: Public Affairs, 2020.

KEYNES, J. M. The general theory of employment, interest and money. London: Harcourt, 1964.

LERNER, A. Functional Finance and the Federal Debt. Social Research, no. 10, 1943.

_____. Money as a Creature of the State. The American Economic Review, Vol. 37, No. 2, Papers and Proceedings of the Fifty-ninth Annual Meeting of the American Economic Association., pp. 312-317, 1947.

MINSKY, H. Estabilizando uma economia instável. Osasco: Novo Século Editora, 2013.

MITCHELL, W.; WRAY, L. R.; WATTS, M. Macroeconomics. Macmillan/Red Globe Press, 2019.

MODENESI, A. M. Regimes Monetários: teoria e a experiência do real. Barueri: Manole, 2005.

MYRDAL, Gunnar. Teoria econômica e regiões subdesenvolvidas. Rio de Janeiro: Saga, 1972.

PERROUX, François. A economia do século XX. Lisboa: Livraria Mo-

rais Editora, 1967.

WRAY, L. R. Trabalho e moeda hoje: a chave para o pleno emprego e a estabilidade dos preços. Rio de Janeiro: Editora UFRJ/Contraponto Editora, 2003.

_____. Modern Money Theory: a primer on macroeconomics for sovereign monetary. University of Missouri-Kansas City, 2015.

MILANOVIC, B. Global Inequality: a new approach to the age of globalization. Londres: Belknap, 2016.

PIKETTY, T. O capital no século XXI. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2014.

UNCTAD. Trade and Development Report 2021. From Recovery to resilience: the development dimension. Nova Iorque: United Nations Press, 2021.

Capítulo 18

Setor de energia

Por Camila Ferraz¹ e Gustavo Naciff²

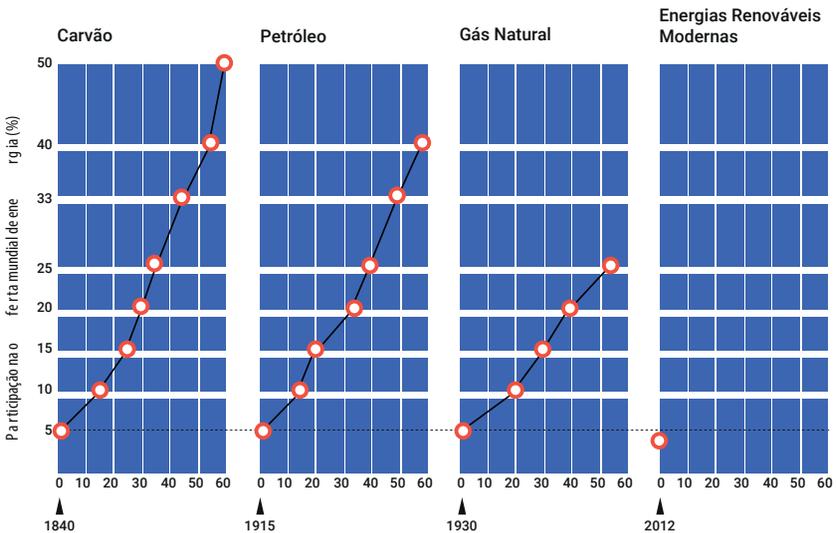
1 Camila Ferraz é economista (USP) e mestre em Economia pelo Instituto de Economia da UFRJ, com experiência em estudos socioeconômicos e planejamento estratégico baseado em cenários em instituições públicas e privadas. Na EPE desde 2015, vem atuando nas agendas de inovação e transição energética e exerce, desde agosto de 2022, a função de assessora da presidência na área de Planejamento Estratégico.

2 Gustavo Naciff de Andrade é especialista em Engenharia *Econômica* e Financeira, além de mestre e doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Fluminense. Na EPE desde 2008, Gustavo Naciff atualmente desempenha a função de superintendente adjunto na Superintendência de Estudos Econômicos e Energéticos, atuando em temas como desenho de mercado, inovação no setor de energia, avaliações econômicas, cenários de longo prazo, entre outros.

A transição energética mundial pode ser caracterizada como um processo de transformações nos sistemas energéticos na direção de uma economia de baixo carbono. Multidimensional e diverso no que se refere aos desafios e prioridades de cada região e país, este processo que tem como sua expressão mais visível as mudanças na matriz energética primária mundial, engendra transformações mais amplas (a exemplo dos 3Ds da Transição energética: descarbonização, descentralização e digitalização), com impactos sistêmicos que vão muito além do setor energético e requerem abordagens cada vez mais holísticas e integradas.

Historicamente, a longa coexistência entre fontes energéticas durante suas trajetórias de substituição progressiva e a transição de infraestrutura de produção, transporte e utilização de recursos energéticos, são alguns dos fatores que explicam o lento padrão das transições energéticas (Figura 18.1). Autores como Smil (2014, 2016), argumentam que mesmo ao considerar os melhores meios técnicos e organizacionais atualmente disponíveis, o crescimento da demanda de energia em termos absolutos ao longo dos últimos séculos torna mais difícil qualquer nova fonte primária de energia atingir um ponto em que comece a impactar a matriz mundial (entre 10% e 15% do *market share*) de modo mais significativo.

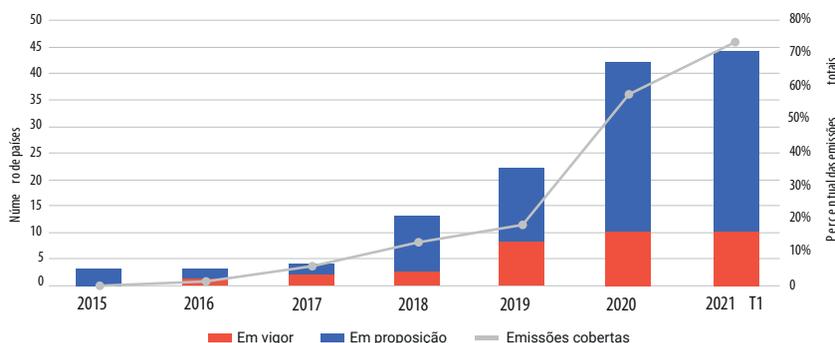
Figura 18.1 – Evolução da participação na Matriz energética Mundial por fonte (em percentual)



Fonte: Smil (2014).

Nos últimos anos, entretanto, a emergência climática e o avanço tecnológico associado à redução de custo de novas tecnologias têm trazido a necessidade e a possibilidade de uma aceleração da Transição energética mundial e do processo de descarbonização, movimento que ganha força no contexto da pandemia e de recuperação das economias mundiais rumo a modelos de desenvolvimento mais sustentáveis. Exemplo disso são os diversos pacotes de recuperação verde e expansão dos compromissos (*net zero*) para reduzir a zero as emissões líquidas até meados do século, anunciados desde o Acordo de Paris (Figura 18.2).

Figura 18.2 – Compromissos *Net Zero* anunciados por países

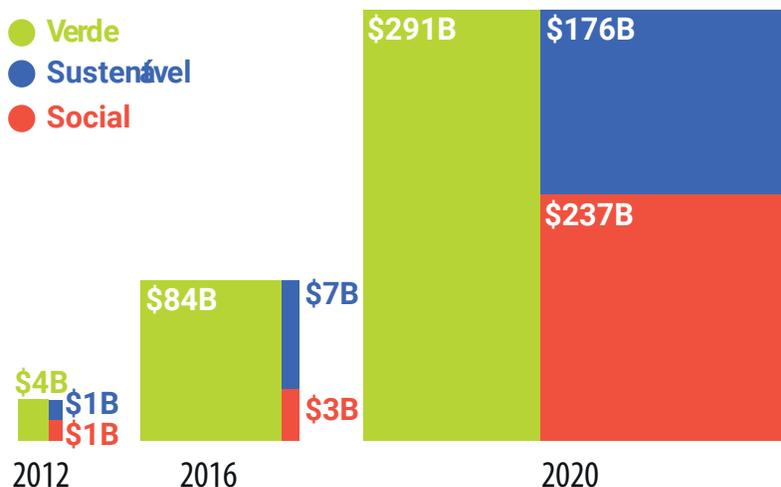


Fonte: IEA, 2021. Todos os direitos reservados. ³

Fonte: CEBRI-BID-EPE (2021), baseado em IEA (2021b).

Também é iminente a pressão cada vez maior para que a transição para uma economia de baixo carbono esteja associada aos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) e aos critérios ESG (*Environmental, Social and Governance*, em inglês) implicando na necessidade crescente de coerência entre discurso e prática (“*walk the talk*”). Este movimento influencia as políticas, regulações e investimentos públicos e privados na busca por maiores impactos em sustentabilidade. A Figura 18.3 a seguir retrata, por exemplo, o ganho de participação dos critérios de sustentabilidade e sociais na emissão de títulos no mercado financeiro internacional.

Figura 18.3 – Compromissos *Net Zero* anunciados por países

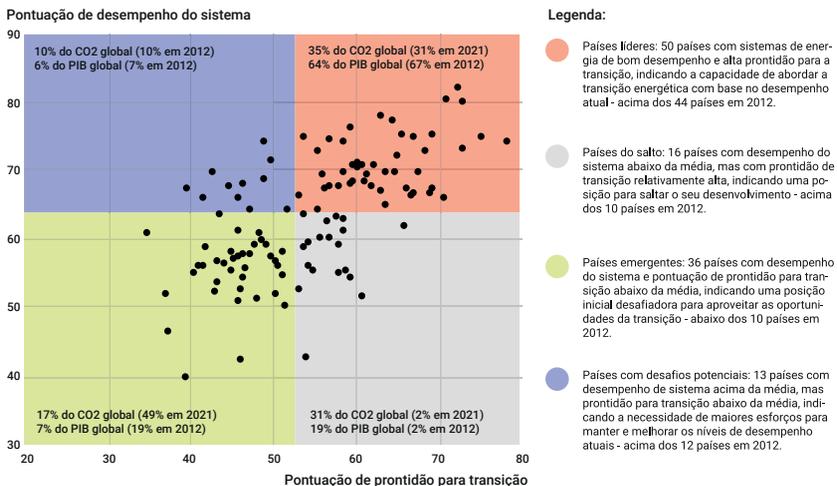


Fonte: J.P. Morgan Asset Management (2021).

Apesar do consenso sobre a importância de se acelerar e intensificar trajetória mundial para uma economia de baixo carbono, restam incertezas sobre a capacidade de cumprimento dos compromissos climáticos e de uma transição energética que seja de fato justa, inclusiva e sustentável.

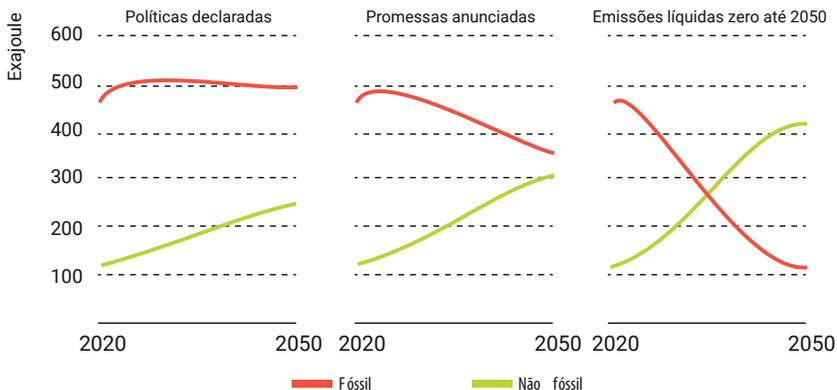
A diversidade de condições para transição energética coloca dúvidas sobre ritmo e efetividade deste processo nos diversos países (Figura 18.4). O índice de transição energética do World Economic Forum – WEF (2021) mostra, por exemplo, que apenas 25% dos países performaram de maneira equilibrada nas 3 dimensões do sistema energético, segundo este indicador, a saber: (i) desenvolvimento econômico e crescimento, (ii) acesso à energia e segurança energética e (iii) sustentabilidade ambiental. Outra incerteza relevante, refere-se à trajetória dos fósseis na matriz energética mundial, que permaneceu próxima a 80% da oferta total durante muitas décadas: passando de 81,2% em 1971 para 86,3% em 2018, segundo o IEA (2020a). Apesar de grande parte das análises *Net Zero*, apontarem para reduções nessa participação – que podem atingir de 50% a 20% no cenário *Net Zero* da IEA (2021b) – o ritmo e intensidade desta trajetória é bastante incerto (Figura 18.4).

Figura 18.4 – Países que integram o Índice de Transição energética do WEF, por pontuação na performance do sistema energético e na prontidão para Transição energética



Fonte: WEF (2021).

Figura 18.5 – Oferta de energia até 2050, por cenário



Fonte: IEA (2021a).

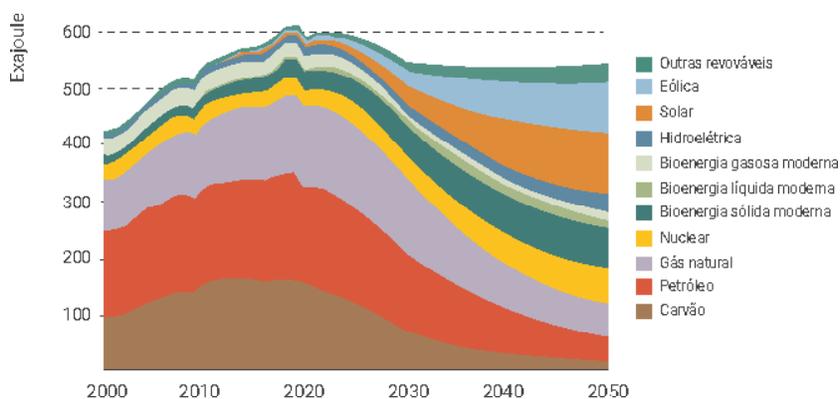
Há também desafios importantes e incertezas em relação à capacidade de promoção de uma transição energética justa, inclusiva e sustentável: aproximadamente 770 milhões de pessoas ainda carecem

de energia elétrica no mundo (WEF, 2021), 2,5 bilhões não têm acesso à cocção a partir de energias limpas (IEA 2021a), ônus dos gastos com energia elétrica, gás e água da população mais pobre, entre outros desafios relacionados à trajetória do emprego, da desigualdade de renda e da pobreza energética no contexto de transição para uma economia de baixo carbono.

Em suma, o ritmo e a efetividade da Transição Energética nos diversos países dependem de fatores ainda incertos, o que demonstra a importância de se fortalecer as políticas públicas e a cooperação nesta direção e, principalmente, do planejamento estratégico de longo prazo.

No que se refere à oferta de energia espera-se no horizonte de 2040 uma tendência de diversificação crescente das matrizes energéticas mundiais (Figura 18.6), com a expansão das renováveis variáveis e um processo de eletrificação (Figura 18.7).

Figura 18.6 – Oferta total de energia no cenário *Net Zero* da IEA



Fonte: IEA. Todos os direitos reservados.

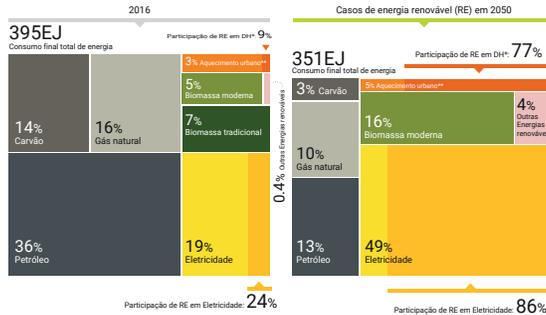
Fonte: IEA (2020a).

A aceleração da inserção de renováveis variáveis acompanhada do desafio da intermitência inerente a estas fontes traz novos desafios para a sua integração no sistema. Um deles é a necessidade crescente de flexibilidade, eficiência e resposta da demanda, além de maior integração entre oferta e demanda de energia.

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2021b) a adoção de tecnologias de baixo carbono que não demandam diretamente o engajamento de consumidores e cidadãos (por exemplo tecnologias

de geração ou produção de aço) respondem a 40% na redução de emissões necessárias para o alcance do cenário mundial de *Net Zero*, o que demonstra a importância de uma perspectiva sistêmica para além do enfoque puramente tecnológico (em termos de fontes) sobre os caminhos possíveis para a descarbonização.

Figura 18.7 – Consumo final de energia (%) com eletrificação crescente no cenário Remap da IRENA



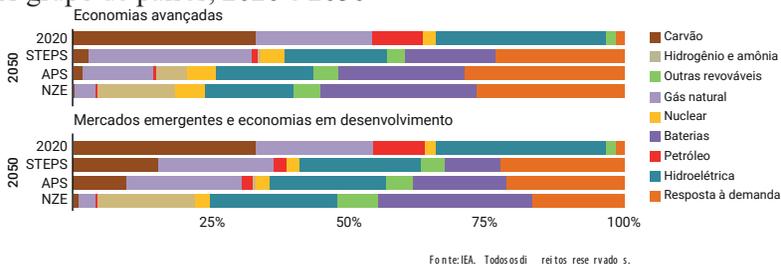
Obs.:

*DH (Entalpia): é uma medida da energia total de um sistema, incluindo sua energia interna (a energia dos átomos e moléculas dentro de uma substância) e a energia associada à sua pressão e volume.

** Aquecimento urbano: é um sistema de distribuição de calor gerado em um local centralizado através de um sistema de tubos isolados para requisitos de aquecimento residencial e comercial, como aqueci-

Fonte: IRENA(2019a).

Figura 18.8 – Flexibilidade do sistema elétrico por fonte, por cenário e por grupo de países, 2020 e 2050



Obs.:

STEPS: Stated Policies Scenario - Cenário de Políticas Declaradas

APS: Announced Pledges Scenario - Cenário de Promessas Anunciadas

NZE: Cenário de Net Zero

Fonte: IEA (2021a).

O papel mais ativo dos consumidores associado à redução nos custos de investimentos e transação, pela maior disseminação das tecnologias

digitais, tem permitido a expansão dos Recursos Energéticos Distribuídos (RED, ou Distributed Energy Resources – DER em inglês). Os RED são definidos como tecnologias de geração e/ou armazenamento de energia elétrica, localizados dentro dos limites da área de uma determinada concessionária de distribuição, normalmente junto a unidades consumidoras, atrás do medidor (behind-the-meter). Adicionalmente, com frequência essa definição vem se ampliando para abarcar ainda eficiência energética, resposta da demanda (RD) e gerenciamento pelo lado da demanda (GLD). Assim, com o intuito de identificar as implicações da penetração em larga escala dessas tecnologias no sistema elétrico, consideramos aqui que os RED contemplam: (i) geração distribuída (GD); (ii) armazenamento de energia; (iii) veículos elétricos (VE) e estrutura de recarga; (iv) eficiência energética; e (v) gerenciamento pelo lado da demanda (GLD) (EPE, 2018; FGV, 2016). Nesses termos, os RED permitem a maior participação do consumidor tanto na geração, quanto na gestão do consumo da sua própria energia.

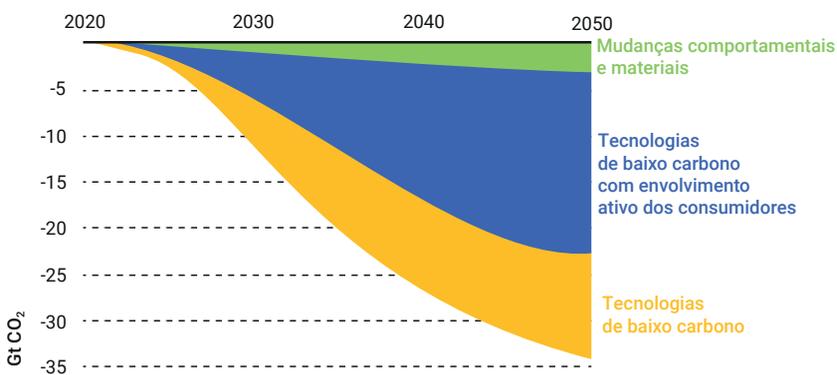
De acordo com a Empresa de Planejamento Energético (EPE, 2018), a difusão cada vez mais acelerada destas tecnologias apresenta um elevado potencial disruptivo, capaz de transformar profundamente os sistemas elétricos que hoje são predominantemente operados com recursos de maior porte e gerenciados centralmente. De fato, o World Energy Council (2017) aponta a tendência de se observar a transição de sistemas elétricos predominantemente centralizados para sistemas híbridos e cada vez mais descentralizados em diversos países nos próximos anos. Neste contexto, a transição de um modelo centralizado para um modelo mais distribuído deve alterar os fluxos de energia e aumentar significativamente a complexidade dos sistemas elétricos demandando novas práticas de planejamento da geração, transmissão e distribuição de energia, conforme ilustra a Figura 18.9.

Mecanismos “inteligentes” de integração e gerenciamento dos REDs estão em intenso desenvolvimento e isso deve contribuir para ampliar os potenciais ganhos de eficiência obtidos a partir da inserção de mais RED. Como exemplo, pode-se citar a figura dos “agregadores” de recursos energéticos distribuídos, que formam plantas virtuais e as despacham no mercado de eletricidade.

Vale destacar que as possibilidades de gerenciamento dos RED vão além do setor elétrico, envolvendo a integração entre este e outros setores. Neste sentido, o sector coupling (ou acoplamento) constitui fonte relevante de flexibilidade para o sistema, tanto do lado da oferta (como produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis) quando do

lado da demanda (no caso da eletromobilidade e outros tipos de integração), como pode ser observado na Figura 18.10. O armazenamento e o acoplamento do setor energético a outros setores são “*game changers*” para a descarbonização rumo ao *Net Zero*. Segundo a Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA), a abordagem baseia-se no fato de que, quando acopladas a uma rede elétrica, as tecnologias nessa interface efetivamente também se tornam componentes do sistema de energia e, portanto, podem ser modeladas como tal.

Figura 18.9 – Papel das tecnologias e da mudança de comportamento do consumidor na redução das emissões necessárias para o Net Zero

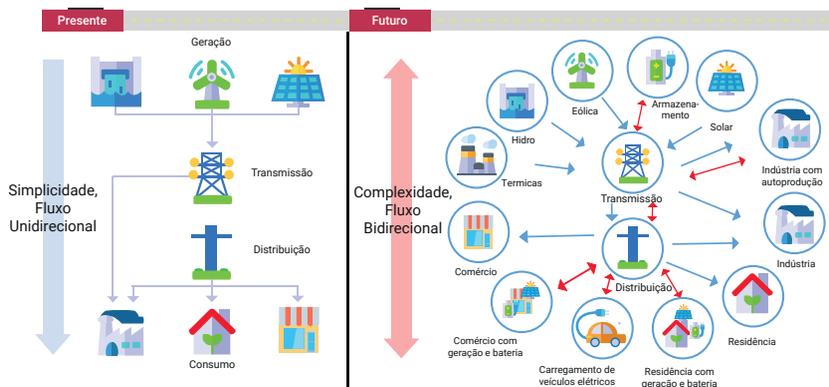


Fonte: IEA (2021b).

Fonte: IEA. Todos os direitos reservados.

Dentre os muitos desafios que o processo de descentralização dos sistemas energéticos traz, destacam-se o aumento crescente do número de participantes nos mercados, com a figura dos prossumidores. O cenário *net zero* da IEA, por exemplo, integra cerca de 240 milhões sistemas solares fotovoltaicos (*rooftop*) e 1,6 bilhão de carros elétricos até 2050. Apesar do imenso potencial, o grau de penetração da geração distribuída (não apenas solar, mas também advinda de outras fontes) e dos RED em geral, incluindo-se o ritmo e intensidade dos ganhos de eficiência energética na sua capacidade de reduzir a demanda energética no longo prazo, ficam no campo das incertezas. Ou seja, suas trajetórias futuras dependem de importantes condicionantes regulatórios, de precificação e tarifação para o alinhamento entre desempenho sistêmico e a eficiência econômica, de infraestrutura (incluindo as estações de recarga e as redes inteligentes) e também de um processo chave nesta transformação que é a digitalização.

Figura 18.10 – Sistemas elétricos no presente e no futuro

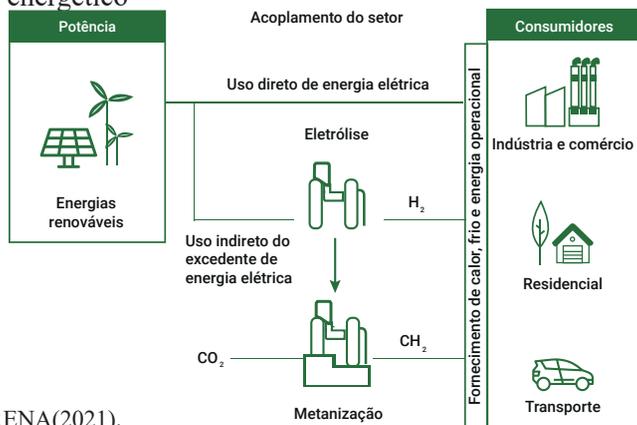


Fonte: EPE (2018).

A perspectiva de maior digitalização na produção e uso de energia, por meio da difusão das tecnologias de informação e comunicação (TIC), está associada à evolução da conectividade, coleta e análise de grande quantidade de dados e da automação. Nos sistemas energéticos, a revolução digital traz novas oportunidades de negócios, estruturas de preços e tarifas mais eficientes, infraestruturas de redes inteligentes, ambientes digitalizados de negociação, gerenciamento mais adequado dos diversos perfis de consumos e um potencial de alavancagem significativo da eficiência sistêmica (EPE, 2020). Neste sentido, a digitalização tem sido apontada como tecnologias “facilitadoras” ou *enabling technologies*) (IRENA, 2019b) e, mais do que isso, como componente central para a transformação rumo a sistemas energéticos modernos, descarbonizados, digitalizados e resilientes, conforme como mostram iniciativas como a Catapult Energy Systems, divulgadas pela a IEA.

Por suas alterações profundas, são decisivos o ritmo de implantação de medição inteligente e o monitoramento dos impactos das novas tecnologias (IoT, computação na nuvem, *big data*, *data analytics*, inteligência artificial, *blockchain* etc.) sobre o sistema energético (oferta e demanda). Ademais, novos desafios surgem, como a vulnerabilidade a ataques cibernéticos vis-à-vis o custo da segurança da informação, o novo papel da operação centralizada na integridade do sistema elétrico, bem como a consideração e discussão sobre a alocação de custos e benefícios do processo de digitalização na sociedade.

Figura 18.11 – Sector coupling e sua relação com a flexibilidade do sistema energético

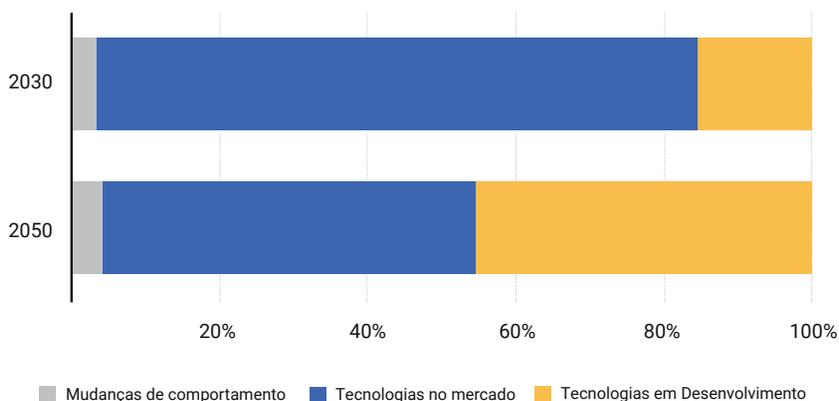


Fonte: IRENA(2021).

A inovação é e continuará sendo um *driver* fundamental para viabilizar e potencializar as transformações nos sistemas energéticos, porém muitas das tecnologias necessárias para a redução de emissões de CO_2 para o *Net Zero*, segundo a IEA (2020, 2021b), estão ainda nos estágios iniciais da cadeia de inovação (Figura 18.12). Há, portanto, necessidade crescente de se dar escala e acelerar os investimentos em inovação, não apenas em renováveis e eficiência energética, mas também em setores responsáveis por grande parcela de emissões e cujas opções de descarbonização são ainda limitadas (como aço, cimento, produtos químicos, transporte de carga e aviação).

Para além do enfoque puramente tecnológico, também no caso da inovação é fundamental uma perspectiva sistêmica que considere inovações regulatórias, de políticas públicas e de modelos de negócios que permitam melhor aproveitar as oportunidades advindas dos processos de descarbonização, descentralização e digitalização, inerentes às Transições Energéticas. O alcance dos ODS e critérios ESG também dependem fundamentalmente de soluções do campo da inovação, a partir de uma conexão cada vez maior com o público-alvo ou os usuários (setor produtivo e sociedade em geral) de modo a potencializar os impactos esperados na direção de uma economia de baixo carbono com sustentabilidade.

Figura 21.12 – Redução de emissões de CO2 cumulativas do setor de energia por maturidade tecnológica



Fonte: IEA (2021b).

Destaca-se que a diversidade de condições e prioridades entre os países e regiões – tecnológicas, de recursos energéticos e minerais, de segurança energética e de desenvolvimento socioeconômico – configuram um cenário ao mesmo tempo de disputa e de possibilidades de cooperação internacional, cada vez mais evidentes no processo de transição energética mundial. Os países têm buscado construir estratégias que, dadas as suas respectivas condicionantes, potencialize a utilização de seus recursos para a transição energética. A disputa tecnológica e por minerais críticos necessários para expansão das renováveis e a Guerra na Ucrânia são exemplos da relevância crescente da geopolítica e da busca por resiliência dos sistemas energéticos.

Mensurar e evidenciar os impactos em termos de custos e benefícios das Transições Energéticas torna-se, portanto, uma necessidade para Políticas Públicas, regulação e investimentos públicos e privados. Da mesma forma, é importante o fortalecimento de uma cultura e ecossistema de inovação que potencialize conexões entre os diversos atores, o desenvolvimento de redes de cooperação nacional e internacional e o planejamento estratégico de longo prazo enquanto ferramenta para que as organizações e países possam lidar com as incertezas, para além das forças que já conhecemos a direção..

Apresenta-se, a seguir, as principais sementes de futuro identificadas no campo do setor de energia até 2040.

Tendências

- Processo contínuo de transição energética – transformações nos sistemas energéticos na direção de uma economia de baixo carbono.
- Aceleração do desenvolvimento tecnológico.
- Emergência climática e tendência de deslocamento da agenda ambiental para o centro das políticas econômicas dos países.
- Pressão cada vez maior para que a transição para uma economia de baixo carbono esteja associada aos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) e aos critérios ESG (*Environmental, Social and Governance*, em inglês), implicando na necessidade crescente de coerência entre discurso e prática.
- Redução da participação das fontes fósseis na matriz energética Mundial.
- Diversificação crescente das matrizes energéticas mundiais, com a expansão das renováveis variáveis e um processo crescente de eletrificação do consumo final de energia.
- Aceleração da inserção de renováveis variáveis acompanhada do desafio da intermitência inerente a estas fontes, trazendo novos desafios para a sua integração no sistema. Um deles é a necessidade crescente de flexibilidade, eficiência e resposta da demanda, além de maior integração entre oferta e demanda de energia.
- Inserção crescente dos Recursos Energéticos Distribuídos (RED) e crescente descentralização dos sistemas energéticos – maior complexidade.
- Papel mais ativo do consumidor de energia (prossumidor).
- Perspectiva de maior digitalização na produção e uso de energia.
- A inovação é e continuará sendo um driver fundamental para viabilizar e potencializar as transformações nos sistemas energéticos.
- Necessidade crescente de se dar escala e acelerar os investimentos em inovação.
- Necessidade crescente das Políticas Públicas, regulação e investimentos públicos e privados mensurarem os impactos em termos de custos e benefícios das Transições Energéticas.
- Relevância da cultura e do ecossistema de inovação.
- Importância crescente da geopolítica no setor energético e mineral na construção de estratégias dos países para a Transição Energética.
- Importância crescente da geopolítica no setor energético e mineral na construção de estratégias dos países para a Transição Energética.

Incertezas

- (Possibilidade de) aceleração do processo de transição energética com a emergência climática e o avanço tecnológico mundial.
- Capacidade de coordenação e cumprimento dos compromissos climáticos e de uma transição energética que seja de fato justa, inclusiva e sustentável.
- Como será o ritmo e a intensidade da trajetória de redução da participação de fósseis na matriz energética mundial?
- Como evoluirá a capacidade de coordenação entre os diversos setores para a implementação de soluções integradas multissetoriais?
- Qual espaço da geração distribuída (GD) e dos demais recursos energéticos distribuídos (RED) no total de atendimento da carga de energia no longo prazo?
- Em que ritmo os ganhos de eficiência energética poderão contribuir para redução do crescimento da demanda de energia no longo prazo?
- Qual será o patamar de crescimento da demanda energética mundial?
- Qual será o ritmo de penetração das redes inteligentes de energia nos próximos anos?
- Qual será a velocidade da redução de custos das novas tecnologias de motorização e armazenamento de energia?
- Como evoluirá a capacidade de coordenação internacional para dar escala aos investimentos em inovação na direção de uma Transição Energética com sustentabilidade?
- Qual será o papel das políticas públicas para uma transição energética com sustentabilidade?

Referências

CEBRI-BID-EPE. Tendências e Incertezas da Transição Energética no caso brasileiro. 2021. Disponível em: <https://www.cebri.org/br/doc/228/tendencias-e-incertezas-da-transicao-energetica-no-caso-brasileiro>.

EPE. Plano Decenal de Expansão de Energia 2031 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2022.

EPE. Plano Nacional de Energia 2050. Versão para Consulta Pública. Rio de Janeiro: EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Ener>

gia-2050.

EPE. Recursos Energéticos Distribuídos: Impactos no Planejamento Energético. Rio de Janeiro: EPE, 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/ND%20-%20Recursos%20Energ%C3%A9ticos%20Distribu%C3%ADos.pdf>

FGV Energia. Distributed Energy Resources. Maio, 2016.

IEA. Energy Technologies Perspectives 2020. Cidade: IEA, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/clean-energy-innovation>.

IEA (2021a). World Energy Outlook. 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021/executive-summary>. Acesso em 24 de março de 2022.

IEA (2021b). *Net Zero - A Roadmap for the Global Energy Sector*. Cidade: IEA, 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>. Acesso em 24 de março de 2022.

IRENA (2019). Global energy transformation: A roadmap to 2050 (2019 edition), Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2019a. Disponível em: [Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050 \(2019 Edition\)](https://www.irena.org/publications/2019/Feb/Global-energy-transformation-a-roadmap-to-2050) (irena.org). Acesso em 22 de março de 2022.

IRENA. *Innovation landscape for a renewable-powered future: Solutions to integrate variable renewables*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2019b. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2019/Feb/Innovation-landscape-for-a-renewable-powered-future>.

IRENA. (2019) Sector coupling in facilitating integration of variable renewable energy in cities. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2021. Disponível em: [file:///C:/Users/Cami/Downloads/IRENA_Sector_Coupling_in_Cities_2021%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Cami/Downloads/IRENA_Sector_Coupling_in_Cities_2021%20(1).pdf). Acesso em 22 de março de 2022.

J.P. Morgan Asset Management. Climate Bonds Initiative. Cidade: Instituição, 30 de junho de 2021. Disponível em: <https://www.visualcapitalist.com/7-esg-essentials-investors-need-to-know/>.

WEF. Fostering Effective Energy Transition. Cidade: Instituição, 2021. Disponível em: <https://www.weforum.org/reports/fostering-effective-energy-transition-2021>. Acesso em: 24 de março de 2022.

ROBINIUS, M. et al. Linking the power and transport sectors – Part 1: The principle of sector coupling. Basel: Energies, MDPI, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en10070956>. Acesso em 24 de março de 2022.

SMIL, V. The Long Slow Rise of Wind and Solar: The great hope for a quick and sweeping transition to renewable energy is wishful thinking.

Scientific American, January, 2014. Disponível em: <http://vaclavsmil.com/wp-content/uploads/scientificamerican0114-521.pdf> . Acesso em: 28 de março de 2022.

SMIL, V. Energy Transitions: Global and National Perspectives (Second expanded and updated edition). Publisher: Praeger, 2 edition, December, 2016.

Capítulo 19

Agricultura e alimentação

Por Thomaz Fronzaglia (Embrapa)¹ e Marcondes Moreira de Araújo (MCTIC)²

1 Thomaz Fronzaglia, Analista da Superintendência de Estratégia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Doutor em Política Científica e Tecnológica. Pesquisador colaborador do Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos da Universidade Católica de Brasília (NEP-UCB).

2 Marcondes M. De Araujo, Analista de Ciência, Tecnologia e Inovação do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), Mestre em Tecnologia Ambiental, Doutorando em Educação em Ciências. Expertise: Inovação e Empreendedorismo, Sustentabilidade, Bioeconomia, Convergência Tecnológica.

Agricultura e alimentação

No tema “Agricultura e alimentação”, incluindo os subtemas: “demanda por alimentos”, “oferta de alimentos” e “agropecuária”, o destaque foi a tendência de aumento e mudança no perfil da demanda mundial por alimentos. Destacam-se as sementes de futuro relativas à importância estratégica do agronegócio, da segurança alimentar e de novos paradigmas de alimentação para atender às demandas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS, Agenda 2030-ONU) e outros desafios globais, levando a mudanças nas formas de produção, regulação de padrões sanitários e de acesso a mercados e ao comércio (doméstico e internacional) e padrões de consumo.

19.1 Aumento da demanda mundial por alimentos

Nesse tema, na consulta aberta aos especialistas foram levantadas duas tendências:

- aproveitamento das fontes marinhas para a alimentação; e
- manutenção da importância estratégica do agronegócio para atendimento à demanda por alimentos, acompanhada da redução de perdas da biodiversidade, da manutenção de serviços ecossistêmicos e preservação de ecossistemas naturais, redução das emissões de gases de efeito estufa de origem da agropecuária e alcance de metas de neutralidade climática.

Os cenários OECD-FAO Agricultural Outlook 2022-2031 avaliam o aumento de produtividade agrícola necessária para o alcance dos ODS 2 e 13, relacionados à redução da fome e dos Gases de Efeito Estufa, respectivamente, até 2030. Os preços internacionais das *commodities* vêm sendo pressionados pela demanda da recuperação pós-COVID-19 e do conflito Rússia – Ucrânia. Os impactos pressionaram tanto os preços dos insumos (principalmente em função dos preços de petróleo e gás) quanto dos produtos. Somado a esse contexto de partida, a macroeconomia mundial será bastante incerta, com viés de redução do crescimento em função dos desdobramentos da geopolítica mundial,

impactando nos investimentos públicos e privados para a manutenção da produtividade agrícola e logística (OECD-FAO, 2022).

Possíveis rupturas:

- **segurança alimentar**, também em países ricos (ex.: crise alimentar com fome em massa decorrente de crise na produção agrícola e de abastecimento, em função de descontinuidade de políticas ambientais, mudanças climáticas, crises, instabilidades e conflitos *geopolíticos*, ex. queimadas, desmatamento, perda, ou depleção acelerada da biodiversidade e de ativos ambientais e serviços ecossistêmicos essenciais);

O consumo alimentar projetado para 2030 poderá ter crescimento anual de 1,4% na próxima década em função principalmente do crescimento populacional nos países de renda baixa e média, uma vez que o consumo nos países de renda alta estará estagnado em função do baixo crescimento populacional e da saturação do consumo de diversos produtos. A evolução das dietas estará relacionada à renda. Em países de renda alta a maior preocupação com a saúde e o *meio ambiente* resultará no declínio do consumo per capita de açúcar e menor crescimento no consumo de proteína animal. Em contraste, nos países de renda média, o consumo deve aumentar e se diversificar com maior participação de gordura e proteína animal. Nos países de renda baixa, o consumo não deverá crescer suficientemente para o alcance do ODS 2 “Fome zero” (OECD-FAO, 2022).

As mudanças demográficas, as migrações e os fluxos populacionais não planejados, as mudanças climáticas, a crescente instabilidade geopolítica e do comércio, o crescente controle nacional sobre as cadeias de insumos, matérias primas e suprimentos críticos (em particular alimentos), e uma aceleração das interseções entre esses desafios globais levarão a uma maior insegurança alimentar. Essa realidade irá exigir sistemas alimentares mais produtivos, sustentáveis com redução às emissões de carbono, resilientes e inovadores quanto às formas de acesso e de comercialização (exportação, atacado e varejo), bem como políticas agrícolas que se antecipem e mitiguem as crises e eventos extremos (políticas, não apenas de abastecimento, mas, ao longo da cadeia do plantio à mesa – “*from farm to fork*” – visando garantir alimento saudável e suficiente a preços acessíveis que contribuam para a busca

de uma neutralidade climática nas próximas décadas).

O crescimento populacional e do poder de consumo alimentar serão heterogêneos, com a população mundial crescendo a taxas decrescentes. Por exemplo, países desenvolvidos e alguns países asiáticos em desenvolvimento terão crescimento populacional estagnado, com rápido envelhecimento populacional e redução da população economicamente ativa. Por outro lado, a África apresentará aumento populacional nos países de renda baixa e população jovem, enquanto a América Latina, Oriente Médio, norte da África e sul da Ásia poderão se beneficiar da oferta de trabalho e produtividade. O crescimento populacional nesses países deve implicar em uma demanda adicional por alimento, enquanto o envelhecimento da população altera o perfil da demanda. A urbanização global deve aumentar de 56% em 2020 para cerca de 66% em 2040, com quase todo o aumento ocorrendo em cidades de tamanho mediano em países em desenvolvimento, gerando alta demanda para os sistemas agroalimentares (Embrapa, 2022).

O desafio será assegurar o fornecimento seguro de alimentos nutritivos e produzidos de forma sustentável para todos os consumidores urbanos, incluindo os de menor renda e mais vulneráveis, pois a urbanização rápida e desordenada em países de menor renda trazem pressão social. Por outro lado, alguns fatores podem forçar populações a deixarem grandes centros urbanos, como a revolução digital, violência e insegurança pública, crises hídricas, insegurança alimentar ou poluição do ar, migrações em larga escala (que podem acelerar em razão de pressões ambientais, econômicas, sociais e políticas). Deslocamentos de populações impactarão a estabilidade dos sistemas alimentares regionais, com pressões sobre preços, qualidade e distribuição de alimentos com riscos de agravamento de condições de insegurança alimentar e nutricional, e reconstrução de hábitos alimentares (Embrapa, 2022).

O Outlook OECD-FAO ressalta a grande contribuição dos países de renda média e baixa na oferta para suprir a demanda na próxima década em função do rápido crescimento e intensificação da produção animal. Os países de renda alta e média-alta terão menor crescimento da produção animal e melhoria na taxa de conversão da alimentação animal deve resultar em crescimento mais lento, comparado à década passada. Após o avanço da febre suína na China, a instalação de granjas modernas e intensivas deverá aumentar o uso de ração (OECD-FAO, 2022).

- **novos paradigmas alimentares** levando a mudanças nas formas

de produção, comercialização e consumo.

A população em situação de insegurança alimentar no mundo vem aumentando desde 2014, com aceleração devido à pandemia de COVID-19. Segundo a FAO, em 2020, cerca de 2,37 bilhões de pessoas não tiveram acesso regular a alimentos seguros, nutritivos e suficientes (aumento de cerca de 320 milhões de pessoas em relação a 2019), em função de conflitos regionais, efeitos da mudança do clima e crises econômicas e geopolíticas, além dos diversos efeitos da atual pandemia (Embrapa, 2022).

A segurança alimentar e nutricional também vem sendo comprometida pela perda de diversidade de alimentos e pelo empobrecimento das dietas alimentares. Poucas espécies de cultivos estão alimentando o mundo com implicações na nutrição humana, e na resiliência do sistema alimentar global, pois 75% dos alimentos consumidos globalmente provêm de apenas 12 espécies de plantas e 5 de espécies animais. Há impactos, principalmente, no aumento da incidência de doenças crônicas (Embrapa, 2022).

Os efeitos da pandemia sobre as cadeias de produção e distribuição de alimentos em nível global tendem ainda a se estender para os próximos anos, e podem ser ilustrativos para a prevenção de outras crises semelhantes, que afetam principalmente populações mais pobres e vulneráveis. Fatores como interrupções na produção, transporte e processamento de alimentos e insumos críticos; políticas de protecionismo, como tarifas e proibições de exportação; e a instabilidade nos mercados globais podem resultar em um grave declínio no financiamento internacional relativo à insegurança alimentar, afetar a disponibilidade de alimentos básicos e elevar os preços dos alimentos de forma persistente (Embrapa, 2022).

- O aumento do consumo consciente cria **maior demanda por alimentos saudáveis** e rastreáveis, buscando alternativas aos alimentos convencionais, ultraprocessados e geneticamente modificados.

A crescente demanda por alimentos e energia, face ao aumento populacional e crise ambiental, é um tema cada vez mais presente nos cenários e debates sobre a agricultura. No século passado, inovações como a Revolução Verde foram fundamentais para atender ao crescimento populacional, e a introdução da agricultura de larga escala no

interior do Brasil, tornando o país um exportador de alimentos. A preocupação com o aumento do consumo persiste, somada às preocupações quanto às alterações no clima e à desertificação de áreas em todo o mundo, o que impõe uma nova onda de inovações e soluções para atender à demanda presente e futura. A agricultura digital, também conhecida como Agricultura 4.0, tem sido apontada como possível solução para os atuais e futuros problemas do setor, baseada em uma agricultura de precisão e novas tecnologias, poupando recursos, reduzindo custos e ampliando a produtividade. Entretanto, as novas tecnologias não são acessíveis a todos os agricultores, visto que grande parte delas depende de infraestrutura de internet, ainda precária em grande parte do Brasil, além de ter um custo de acesso muitas vezes inviável para o pequeno produtor.

A influência multifacetada nas preferências dos consumidores e nos estilos de vida mudarão os padrões de consumo e dietas, influenciadas por políticas públicas em resposta a pressões da sociedade. Em países de baixa ou média renda, as mudanças para padrões de dietas menos saudáveis (bebidas e alimentos ultraprocessados baratos) e baixa atividade física no trabalho, transporte e lazer estão correlacionadas com o aumento na prevalência de sobrepeso, obesidade e doenças não transmissíveis, simultâneo com aumento na subnutrição, principalmente em crianças. Consumidores com maior nível educacional, maior renda e melhor acesso a cuidados de saúde têm maior preocupação com alimentação saudável e exibem maior nível de atividade física proposital. Aumentos de renda estão associados também a uma classe média mais consciente, cujas preferências alimentares podem ser direcionadas por valores de saudabilidade, sociais ou éticos, como preocupações com o bem-estar animal, questões ambientais e redução de desperdício de alimentos e insumos. Mudanças nas preferências dos consumidores tendem a expor a necessidade de os sistemas agroalimentares gerarem produtos saudáveis, seguros, de alta qualidade nutricional e que satisfaçam padrões ambientais de uso de energia, impacto na biodiversidade e abordagens de comércio justo (Embrapa, 2022).

Desafios de saúde persistirão com o uso indiscriminado de antibióticos e o aumento da resistência de patógenos a produtos antimicrobianos. O conceito de Saúde Única – uma abordagem sistêmica sobre a saúde humana, animal e dos ecossistemas – recebeu mais atenção com a pandemia de COVID-19 e deve ser reforçado por meio do aumento da capacidade de antecipar, prevenir e lidar com pandemias, da aceleração de inovações em saúde e uma maior consciência do valor da saúde pú-

blica e da ação preventiva. As doenças não comunicáveis, decorrentes da genética, do ambiente ou do estilo de vida da pessoa (como diabetes, doenças cardiovasculares, câncer e condições respiratórias crônicas), causam hoje a maioria das mortes no mundo. Especialistas em saúde estimam que, em 2040, essas doenças causarão cerca de 80% das mortes em países de baixa renda, considerando o aumento da expectativa de vida, mas também fatores como má-nutrição, poluição e uso de tabaco (Embrapa, 2022).

- **Estímulo aos pequenos produtores, à agricultura sustentável, orgânica, urbana e periurbana.**

A valorização dos recursos e a diferenciação dos produtos territoriais torna a conexão entre produtores e consumidores cada vez mais importante para a disponibilização das informações sobre o lugar, pessoas e formas de produção. As crises sanitária, *econômica* e social, decorrentes da pandemia de COVID-19, impactam a segurança alimentar, intensificaram a fome, evidenciaram ainda a importância de estratégias de circuitos curtos no abastecimento a parcelas significativas da população, associado à necessidade de que os alimentos sejam inócuos, saudáveis e produzidos de forma sustentável por comunidades prósperas. Como tendência, vislumbra-se que a pandemia reforçará a vinculação alimentação-saúde e o aprofundamento de processos de encurtamento das distâncias entre produção e consumo e de valorização e diferenciação de produtos alimentares como estratégia, conforme explicitado nos princípios assumidos pelos países americanos para o fórum global sobre os sistemas agroalimentares, ocorrido em 2021. Haja vista uma atenção maior para esse tipo de circuito, há que se atentar para investimentos nos serviços de comunicação, infraestrutura de tecnologia de informação e redes móveis de forma a acelerar os processos de aprendizagem e escoamento da produção. A relação de proximidade produtor-consumidor possibilita a troca de informações e aumenta o senso de responsabilidade de ambos na promoção de sistemas produtivos sustentáveis. Por sua vez, as próprias exigências legais dos produtos com sinais distintivos e as regras sanitárias de alimentos processados impõem aos agricultores e garantem e informam aos consumidores condições adequadas e saudáveis na produção dos alimentos.

- Também sobre oferta de alimentos, outras possíveis rupturas levantadas pelos *experts* brasileiros foram: produção de proteína animal em larga escala e sustentável; transformação dos alimentos com

- menor peso das cadeias de grãos e carnes; e,
- Aumento da oferta de alimentos pré processados com suficiência de vitaminas e minerais provenientes de vegetais (alimentos pré e probióticos).

Segundo a consultoria global MCKINSEY (2022), mesmo economizando, mais da metade dos consumidores brasileiros (56%) estão dispostos a pagar mais por produtos saudáveis e orgânicos, segmento que deve continuar a crescer pela evolução dos hábitos de consumo dos brasileiros. Produtos orgânicos, nutritivos e funcionais continuarão a ganhar relevância e podem formar um nicho para aumento de vendas no varejo. “No Brasil, o mercado de alimentos saudáveis e que promovem bem-estar deve crescer a um ritmo de 9% ao ano e chegar a um quinto do total de alimentos embalados em 2030”, afirma o estudo.

A rastreabilidade e a oferta de novos produtos e processos são formas crescentes de agregação de valor. A valorização da compra local também agrega valor à produção de pequenos produtores. Cadeias produtivas agrícolas e afins tenderão a concentrar ações no fornecimento de produtos com maior valor agregado e com as seguintes características: 1) alimentos funcionais ricos em bioativos com características antioxidantes, probióticas, prebióticas; 2) maior oferta de produtos com menor densidade energética e maior densidade nutricional e proteica; 3) processos e produtos para fins e públicos-alvo específicos, com necessidades dietéticas individuais; 4) novas fontes proteicas: proteínas de plantas, carne de laboratório, algas, coprodutos, insetos; 5) produtos com apelos de “tecnologia limpa”; 6) ingredientes naturais, como emulsificantes, aromatizantes, corantes e conservantes, em detrimento dos artificiais; 7) embalagens inteligentes, rotulagem, selo de qualidade e denominação de origem; 8) aproveitamento de coprodutos agroindustriais para obtenção de compostos e materiais de interesse; 9) produtos gourmet, premium e artesanais. (Embrapa, 2022).

- aumento da oferta de proteínas de origem vegetal, principalmente de microalgas para produção de alimentos e rações.

O público consumidor das proteínas sem carne atualmente representa 1% do mercado mundial, mas estimativas apontam o potencial de crescimento para 10% na próxima década. A indústria de proteína cultivada ainda está em estágio inicial, mas com possibilidade de se consolidar como fonte de proteína e causar menor impacto ambiental.

A cultura do consumo de alimentos de origem vegetal (plant-based) é impulsionada pelos consumidores vegetarianos, veganos e flexitarianos. Outro setor emergente de proteínas alternativas é o de insetos (consumidos por 2 bilhões de pessoas em dietas regulares), pois seu alto valor nutricional, baixo impacto ambiental, comparado a outras fontes de proteína, e o maior interesse em fontes alternativas de alimentos, são algumas das motivações (Embrapa, 2022).

- Transformação disruptiva nas condições, tecnológicas, formas, resultados e impactos da produção de alimentos rumo a uma bioeconomia mais sustentável e circular baseada em biomassas de diferentes biomas e fontes (agropecuária, florestas, aquicultura e piscicultura marinha e fluvial, algas).

A demanda por matéria-prima para biocombustíveis de primeira geração deverá crescer lentamente nos próximos 10 anos em função, principalmente, do menor uso de combustível e menor incentivo das políticas, em especial na União Europeia. A maior parte do crescimento da demanda por matéria prima para biocombustível será originada na Índia e Indonésia em função do maior uso de combustível, suporte aos produtores com maior taxa de adição de biocombustível na mistura. A participação do biocombustível no uso da cana-de-açúcar deverá chegar a 23% no mundo em 2031, enquanto a participação no milho deverá cair (OECD-FAO, 2022).

Segundo o relatório “Rethink X Repensando a Humanidade”, o sistema global de produção tradicional está se afastando de um modelo de extração centralizada e uso de recursos escassos que exige uma vasta escala física e financeira, para modelos de criação localizada a partir de novos ativos onipresentes do conhecimento – um mundo construído não sobre carvão, petróleo, aço, concreto, asfalto e gado, mas, fótons, elétrons, DNA, moléculas e (q)bits” (p.5). O projeto e o desenvolvimento do produto serão realizados em colaboração através de redes descentralizadas de informação, enquanto a produção e a distribuição física serão realizadas localmente (ARBIB; SEBA, 2020).

Na área de alimentos e agropecuária aqui abordada, uma bioeconomia circular baseada nas múltiplas transformações químicas, biológicas e físicas das várias biomassas, irá criar uma imensa variedade de produtos e aplicações abrangendo da produção de alimentos, até fármacos, remédios, cosméticos, nutracêuticos e aplicações médicas revolucionárias.

Segundo o relatório “Rethink X Disrupção, Implicações e Escolhas. Repensando os Alimentos e a Agricultura 2020-2030”, publicado em setembro de 2019, o atual sistema industrializado da agropecuária será substituído nas próximas duas décadas por um modelo “*Food-as-Software*”, onde os alimentos são projetados em nível molecular por cientistas e carregados em bancos de dados que poderiam ser acessados por *designers* de alimentos em qualquer lugar. Isto resultará em um sistema de produção de alimentos muito distribuído e localizado, mais estável e resiliente do que aquele atual que irá substituir. Idealmente, o novo sistema de produção estaria protegido da volatilidade de volume e preço devido às variações e caprichos da sazonalidade, clima, seca, doenças e outros fatores naturais, econômicos e políticos. Assim, potencialmente, a vantagem competitiva da geografia e a abundância de recursos naturais irão decrescer. Passaríamos de um sistema centralizado, dependente de recursos escassos, para um sistema descentralizado e distribuído baseado na abundância (TUBB; SEBA, 2019).

Prossegue o estudo afirmando que os produtos alimentícios do futuro próximo (horizonte 2040) terão custo de produção inferior, serão potencialmente mais baratos e superiores em atributos funcionais (nutrição, sabor, variedade e conveniência) aos alimentos de origem animal. Os benefícios nutricionais podem ter um profundo impacto na saúde, na redução de doenças de origem alimentar quanto em doenças cardíacas, obesidade, câncer e diabetes, cujo custo atual é estimado em US\$ 1,7 trilhões por ano.

Os benefícios ambientais serão imensos, com emissões líquidas de gases de efeito estufa do setor do agronegócio caindo em 45%, até 2030. Questões internacionais como desmatamento, extinção de espécies, escassez de água e poluição aquática por animais, resíduos, hormônios e antibióticos também serão melhorados. Até 2035, prevê o estudo, as terras anteriormente utilizadas para produzir alimentos para animais nos EUA, poderiam se tornar um grande sumidouro de carbono.

No espaço europeu, em linha com a Política Agrícola Comum (PAC) 2023-2027 (Europe Union, 2022) o emprego do Sistema de Exploração de Cenário (SES), um jogo desenvolvido pelo Centro Europeu Conjunto de Pesquisa, facilita o uso prático de cenários a partir de estudos prospectivos e a aplicação do pensamento sistêmico futuro à elaboração de políticas. Na Bioeconomia, baseia-se em quatro cenários para futuras transições rumo ao desenvolvimento sustentável e uma economia climática neutra, desenvolvida em um estudo prospectivo anterior. Os participantes assumem os papéis de diferentes atores

(produtor primário, consumidor, formulador de políticas, empresas e opinião pública) e exploram diferentes cenários. A ferramenta permite desenvolver uma perspectiva de longo prazo e experimentar as limitações e oportunidades que podem enfrentar na concepção de ações para alcançar metas e objetivos de longo prazo e na interação com as outras partes interessadas (BORZACCHIELLO et al., 2022).

Em agosto de 2020, a Plataforma para o Biofuturo lançou cinco princípios para Recuperação e Aceleração da Bioeconomia Pós-COVID, promovendo a cooperação internacional na descarbonização do setor de energia (Biofuture Platform, 2022). Em maio de 2021, a conferência multilateral Biofuture Summit II / Brazilian Bioenergy Science and Technology Conference (BBEST) 2021, lançou um Guia para Políticas Públicas do Biofuturo. O documento traz uma avaliação crítica da bioeconomia global, destacando a necessidade de aumentar os índices de geração de bioenergia para possibilitar o cumprimento das metas globais de redução nas emissões de gases de efeito estufa nas próximas décadas. Em junho de 2021, os Estados Unidos da América receberam do Brasil a presidência da Plataforma que atualmente conta com 22 países, cuja agenda declarada procurará fortalecer cadeias produtivas de biomassa sustentável; a construção de um consenso ambiental sobre sua importância como um dos elementos-chaves da revolução da tecnologia limpa; o estímulo ao engajamento do setor privado e a convergência de políticas públicas para viabilizar o sucesso da bioeconomia.

Os instrumentos de suporte à bioeconomia para superar as barreiras ao seu desenvolvimento, visando o atingimento das NDCs de redução dos GEE até 2030 e 2050 têm sido propostos no campo da CT&I, políticas de suporte e estímulos à demanda sustentável. Contudo, os investimentos e resultados modestos em etanol de 2ª geração indicam que a bioeconomia não tem contribuído de forma robusta para tais metas como poderia. Diversos países vêm buscando o estabelecimento de indústrias nacionais de bioprodutos por meio de avaliações de custo-benefício. Mas essa jornada de inovação ainda se concentra em cadeias produtivas estabelecidas, como o etanol de 1ª geração. As políticas de CT&I têm estimulado o desenvolvimento de tecnologias para a travessia do vale da morte entre estágios iniciais de maturação até os níveis mais avançados de maturidade. Os estímulos ao consumo sustentável poderão apoiar os primeiros adotantes de novos bioprodutos. Ainda assim, resta o desafio do apoio das políticas públicas para superação de barreiras institucionais para superar problemas técnicos,

formar recursos humanos, melhorar o ambiente de negócios, lidar com a competição de produtos de origem fóssil e criar mecanismos de financiamento (BIOFUTURE PLATFORM 2018).

19.2 Desafios da agricultura e alimentação para o mundo

Apesar de afetado pelos preços dos combustíveis, desbalanços nas cadeias e interrupções comerciais, o comércio internacional deverá crescer retomando o declínio histórico de preços reais no longo prazo, com algumas regiões exportando maior parcela de sua produção doméstica (América Latina e Caribe, Europa e Ásia Central), enquanto outros importarão maior parcela do seu consumo total (África Subsaariana). A dependência mútua implica na necessidade de maior facilitação do comércio internacional (OECD-FAO 2022).

O Outlook da OECD-FAO 2030 mostra que na próxima década, a produção global da agricultura deverá crescer 1,1% a.a., em que os incrementos de produção deverão ocorrer nos países de renda média e baixa renda, com maiores investimentos para os aumentos da produtividade como tecnologia, infraestrutura e capacitação. Contudo, o prolongado aumento nos custos dos insumos e da energia aumentará o custo de produção. Assim, serão necessários investimentos em gestão para aumentar a produtividade. Assumindo o processo contínuo de melhoramento genético, a transição para sistemas mais intensivos, os ganhos de produtividade poderão ser responsáveis por 80% do aumento da produção e a expansão de área¹ por 15% e a intensificação por 5%. Contudo, o ODS2 “Fome Zero” não será alcançado até 2030, implicando também em programas de suporte à alimentação saudável. A importante contribuição da agricultura para a mudança climática e o grande potencial de redução dos GEE, revela-se uma oportunidade para a adoção em larga escala de tecnologias e sistemas produtivos mitigadores de GEE e adaptáveis às mudanças do clima, principalmente nos países produtores de proteína animal e arroz irrigado. Contudo, na próxima década as

¹ A expansão de área será concentrada na Ásia, América Latina e África Subsaariana (OECD-FAO 2022).

emissões totais da agricultura aumentarão 6%.² Para que o ODS 2 e o Acordo de Paris fossem simultaneamente cumpridos, a produtividade média global deveria aumentar em 28% nos próximos 10 anos, mais que o dobro da média da década passada (OECD-FAO 2022).

Ações para o desenvolvimento sustentável dos sistemas agroalimentares deverão estar no centro da agenda das políticas de inovação na agricultura, bem como na política de CT&I visando facilitar a transferência de tecnologia, formação de pessoal capacitado em toda a cadeia produtiva e serviços de apoio para redirecionar a trajetória. A busca por sistemas alimentares mais inclusivos, voltados a uma dieta de maior qualidade são desafios de políticas regionais, nacionais e globais. Esforços na redução de perdas e desperdício, bem como no melhor balanceamento da dieta deverão ser desafios coletivos (IFPRI, 2020).

Por 3 séculos anos, o Estado-nação tem sido aceito como o principal ator político nas sociedades industriais desenvolvidas. Na atual sociedade global do conhecimento e da inovação acelerada, os governos nacionais aparentam se tornar um entre vários que tomam decisões em redes descentralizadas. O estabelecimento e a realização de metas, aqui tratadas para o futuro da bioeconomia, seja em uma comunidade específica ou no planeta, dependerá de uma constante capacidade de entender a mudança e distribuir de forma coordenada esforços colaborativos. Pois os desafios que se apresentam desde a atualidade serão cada vez mais coletivos, dependentes da ação coletiva. A promoção de valores, políticas e instrumentos compartilhados será uma parte essencial nessa complexa tomada de decisão em rede. Portanto, o desenho da governança será central para a superação de problemas globais.

Para adaptarem-se a estas mudanças, as organizações multilaterais públicas e privadas devem ser capazes de redistribuir regularmente as responsabilidades conforme a natureza e complexidade dos desafios e objetivos em questão, em vez de se basear apenas em hierarquias rígidas. O sucesso dependerá cada vez mais da utilização de avançadas fontes de conhecimento, tanto sobre o problema específico como sobre as possíveis soluções, com abordagens multidisciplinares, multiescalares, e *multistakeholders*. Uma difusão radical do conhecimento

² As emissões diretas de GEE provindas da agricultura deverão aumentar 6% na próxima década, sendo que a produção animal responderá por 90% desse aumento. Contudo, as emissões da agricultura crescerão numa taxa mais baixa que a produção, graças ao aumento na produtividade, diminuição na participação da produção de ruminantes, indicando uma diminuição na intensidade de emissões da agricultura. (OECD-FAO 2022).

e uma grande aceitação da experimentação – com avanços e fracassos – parecem ser os ingredientes cruciais para a realização dos benefícios das profundas mudanças sociais, econômicas e políticas trazidas pela bioeconomia no futuro próximo.

Apresenta-se, a seguir, as principais sementes de futuro identificadas no campo da agricultura e alimentação até 2040.

Tendências

- Aumento da demanda mundial de alimentos.
- Aproveitamento das fontes marinhas para a alimentação.
- Manutenção da importância estratégica do agronegócio para atendimento à demanda por alimentos, acompanhada da redução de perdas da biodiversidade, da manutenção de serviços ecossistêmicos e preservação de ecossistemas naturais, redução das emissões de gases de efeito estufa de origem da agropecuária e alcance de metas de neutralidade climática.

Rupturas possíveis

- Segurança alimentar, também em países ricos (ex.: crise alimentar com fome em massa decorrente de crise na produção agrícola e de abastecimento, em função de descontinuidade de políticas ambientais, mudanças climáticas, crises, instabilidades e conflitos geopolíticos, ex.: queimadas, desmatamento, perda, ou depleção acelerada da biodiversidade e de ativos ambientais e serviços ecossistêmicos essenciais).
- Novos paradigmas alimentares levando a mudanças nas formas de produção, comercialização e consumo.
- O aumento do consumo consciente cria maior demanda por alimentos saudáveis e rastreáveis, buscando alternativas aos alimentos convencionais, ultraprocessados e geneticamente modificados.
- Estímulo aos pequenos produtores, à agricultura sustentável, orgânica, urbana e periurbana.
- Também sobre oferta de alimentos, outras possíveis rupturas levantadas pelos experts brasileiros foram: produção de proteína animal em larga escala e sustentável; transformação dos alimentos com menor peso das cadeias de grãos e carnes.
- Aumento da oferta de alimentos pré processados com suficiência de vitaminas e minerais provenientes de vegetais (alimentos pré e pró bióticos).
- Aumento da oferta de proteínas de origem vegetal, principalmente

de microalgas para produção de alimentos e rações.

- Transformação disruptiva nas condições, tecnologias, formas, resultados e impactos da produção de alimentos rumo a uma bioeconomia mais sustentável e circular baseada em biomassas de diferentes biomas e fontes (agropecuária, florestas, aquicultura e piscicultura marinha e fluvial, algas).

Referências

ARBIB, J.; SEBA, T. Rethinking Humanity Five Foundational Sector Disruptions, the Lifecycle of Civilizations, and the Coming Age of Freedom. RethinkX, June, 2020. Disponível em: <https://www.rethinkx.com/humanity>. Acesso 30.05.2022.

BIOFUTURE PLATFORM. Creating the Biofuture: A Report on the State of the Low Carbon Bioeconomy. A Report on the State of the Low Carbon Bioeconomy. Brasília: Biofuture Platform, 2018. Disponível em: <https://biofutureplatform.org/wp-content/uploads/2022/09/Creating-the-Biofuture-Report.pdf>

BIOFUTURE PLATFORM. Five core Biofuture principles for post-COVID bioeconomy recovery and acceleration. Disponível em: <https://biofutureplatform.org/wp-content/uploads/2022/09/Biofuture-Principles-for-Recovery-with-Bio-final-version.pdf>. Acesso 30.05.2022.

BORZACCHIELLO, M. T.; SANCHEZ LOPEZ, J.; AVRAAMIDES, M. Scenario Exploration System - Future transitions for the bioeconomy towards sustainable development and a climate-neutral economy. In: RUDKIN, J.; BONTOUX, L. editor(s), Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022, ISBN 978-92-76-51756-6, doi:10.2838/368240, JRC127592. Disponível em: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC127592>. Acesso 30.05.2022.

EMBRAPA. Contexto Global 2020-2030-2040: Décadas de instabilidade e oportunidades. In. Visão de Futuro do Agro Brasileiro. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao-de-futuro>. Acesso 30.05.2022.

EUROPEAN UNION. Política Agrícola Comum (2023-2027). Disponível em: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/cap-introduction/cap-future-2020-common-agricultural-policy-2023-2027>. Acesso 30.05.2022.

IFPRI. 2020 Global Food Policy Report: Building Inclusive Food Systems. Washington, DC: International Food Policy Research Institute – IFPRI, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2499/9780896293670>.

Acesso 30.05.2022.

MCKINSEY. Varejo alimentar as seis grandes tendências para o setor em 2022 e nos próximos anos. 2022. Disponível em: <https://varejoalimentar2022.mckinsey.com/#welcome>. Acesso 30.05.2022.

OECD/FAO. OECD-FAO Agricultural Outlook 2022-2031. Paris: OECD Publishing, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/f1b0b29c-en>. Acesso 30.05.2022.

TUBB, C.; SEBA, T. Rethinking Food and Agriculture 2020-2030: The Second Domestication of Plants and Animals, the Disruption of the Cow, and the Collapse of Industrial Livestock Farming. A RethinkX Sector Disruption Report. September, 2019. Disponível em: <https://www.rethinkx.com/food-and-agriculture>. Acesso 30.05.2022.

Capítulo 20

A logística do futuro

Por Juliano Antônio Sebben¹ e Rafael Silva e Sousa²

1 Doutor em Engenharia Química e Especialista de Desenvolvimento Industrial no Observatório Nacional da Indústria da CNI.

2 Mestre em Economia e Analista de Desenvolvimento Industrial no Observatório Nacional da Indústria da CNI.

A logística do futuro

Na pesquisa de identificação das sementes de futuro associadas à Economia (Leal; Marcial, 2021), um tema proposto foi a Logística. O setor consiste em um conjunto de técnicas, conhecimentos e métodos voltados a substanciar o fluxo de insumos, movimentação de mercadorias e estocagem. Com uma atividade complexa e ampla, a logística possui grande influência na economia, já que possibilita que os produtos adquiridos sejam entregues, gerando fluxo de informações e pedidos. Essa temática abrange o subtema “Transporte e Logística” que já aparecia na pesquisa de 2019.

O setor é componente cada vez mais estratégico na economia mundial, já que o seu bom desenvolvimento possibilitará que um país, seja ele qual for, aumente suas capacidades de produção e produtividade, e consiga, em um mundo cada vez mais globalizado, efetuar de forma eficiente o comércio exterior.

A logística, praticada de forma eficiente e quando considerada estratégica por governos e empresas, é considerada um dos caminhos para se combater custos desnecessários e integrar as regiões e habitantes aos sistemas de produção e consumo estabelecidos.

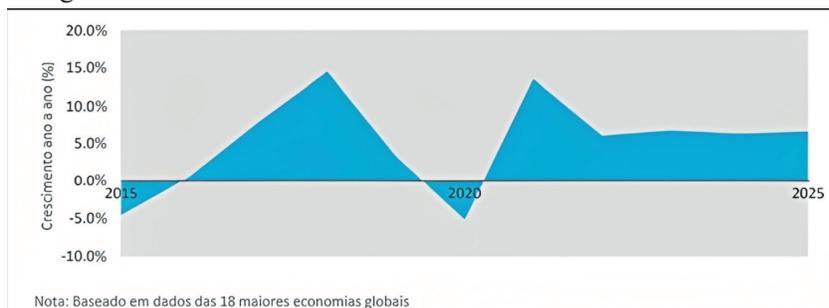
Segundo Svidler (2021), o setor de logística e transporte movimentou US\$ 9,4 trilhões em 2020, ano que deu início a pandemia de COVID-19 no Mundo e, conseqüentemente, refletiu na aceleração de algumas tendências como a participação do *e-commerce* no varejo. De acordo com dados do Fórum Econômico Mundial, as entregas *online* cresceram 25% apenas em 2020. Esse aumento da demanda por serviços de entrega, junto a ampla escassez de mão de obra vivida durante a crise sanitária aceleraram o processo de automatização das atividades do setor. Mesmo após o maior controle da pandemia de COVID-19 e a reabertura do varejo não essencial, espera-se a continuidade do crescimento da participação online do varejo em relação às tendências pré-pandemia (Sondh, 2022; Svidler, 2021).

Anteriormente, já eram discutidas tendências que levariam o setor a se preocupar mais com a sustentabilidade, digitalização e automação do setor, além do crescimento do *e-commerce*. O que a pandemia fez foi acelerar essa mudança de modo irreversível (Sondh, 2022).

20.1 Projeções de produção do Setor

Como pode ser visto na Figura 20.1, espera-se crescimento (CAGR¹) do setor de transporte e logística, por volta de 10 % até 2025, representando a maior taxa de um setor durante o período.

Figura 20.1 – Crescimento do Valor de Produção Global de Transporte e Logística entre os anos de 2015 e 2025



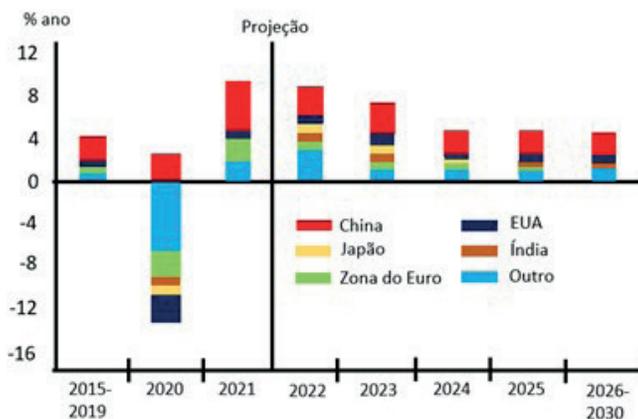
Fonte: Adaptado de Svidler (2021).

A Figura 20.2 ilustra quais são os principais países que contribuíram para o crescimento global do setor ao longo dos anos. Nota-se que a partir das projeções para os próximos anos, a China continua sendo a principal força impulsionadora da economia.

Como pode ser visto na figura 20.2, o segmento **global** de transporte e armazenamento é extremamente concentrado, tendo como grandes *players* a China e os Estados Unidos da América, que representam **metade** da produção global. Segundo dados de Svidler (2021), a China mantém a posição de liderança, com movimentação de carga e armazenagem que representa cerca de 70% da receita total da indústria do país. A alta demanda do varejo, construção e fabricação, bem como crescentes fluxos de comércio exterior e amplo investimentos em infraestrutura de mobilidade foram os principais impulsionadores do crescimento da indústria chinesa.

¹ Taxa de crescimento anual composta: Taxa de retorno necessária para que um investimento parta do seu saldo inicial chegue a um determinado saldo final. Ou seja, é a taxa de retorno medida durante o período, considerando que o crescimento foi constante.

Figura 20.2 – Transporte e Logística: Contribuição para o Crescimento Global



Fonte: Adaptado de Sondh (2022).

Dentro dos países a situação do mercado é diferente. É possível observar a partir da Figura 20.3 que a grande maioria dos mercados nacionais é pouco concentrada. A tendência é que essa dinâmica permaneça no futuro, devido ao alto número de participantes. O segmento continua a testemunhar grande número de *startups*, oferecendo soluções inovadoras em automação, digitalização, cumprimento do *last mile delivery* e outros processos de transporte. Além disso, empresas industriais e de varejo entram cada vez mais no setor logístico para reduzir custos e aumentar a eficiência.

Estudo publicado pela Oxford Economics mostra que o crescimento global da produção de transporte e logística sofrerá com as tensões geopolíticas e com o aumento dos custos dos combustíveis, mas que a recuperação da crise sanitária virá de forma relativamente rápida (Sondh, 2022).

Como a Figura 20.4 indica, no **longo prazo**, espera-se que a China e a Índia continuem a comandar o crescimento global do setor. Como esses países são os mais populosos do mundo e dois dos principais atores do segmento, tem-se a expectativa de que com a elevação dos gastos governamentais em projetos de infraestrutura e a construção de novas redes de transporte, o tempo e os custos associados ao transporte de mercadorias reduzam, aumentando a produtividade do Setor.

Figura 20.3 – Participação das cinco maiores empresas de Transporte e Logística no Valor total da produção de cada país



Fonte: Adaptado de Svidler (2021).

Figura 20.4 – Mapa de Calor das projeções de Crescimento anual da produção de Transporte e Logística

	Transporte e Logística												
	% Produção Global (2020)	Variação Percentual anual											
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2019-2025	2025-2030	2030-2040	2040-2050	
Mundo	100,00	4,20	-9,70	8,80	8,50	7,10	4,50	4,00	3,1	2,9	2,6	2,3	
Américas	23,70	1,30	-14,60	5,10	8,8	6,70	3,20	2,80	1,40	2,1	1,80	1,60	
EUA	16,30	1,80	-13,40	2,80	9,4	7,10	3,10	2,80	1,40	2,1	1,70	1,50	
Canadá	1,80	1,60	-19,50	1,30	13,9	9,8	3,80	2,90	1,20	1,60	1,70	1,80	
Brasil	1,80	0,00	-8,40	10,4	3,00	3,80	3,10	2,30	1,9	1,40	1,20	0,60	
México	1,90	-0,10	-20,10	15	5,30	4,60	3,50	3,10	1,10	2,2	2,3	2,1	
Europa	26,80	2,20	-13,20	10,4	6,20	3,30	2,50	1,90	1,30	1,10	0,90	0,90	
Alemanha	4,10	1,40	-6,80	10,9	-1,9	1,30	1,30	0,60	0,7	0,5	0,4	0,7	
França	2,40	4,00	-23,20	12,9	9,9	3,30	3,20	3,00	0,6	1,40	0,6	0,6	
Reino Unido	2,80	1,90	-16,80	8,10	8,90	2,60	2,00	1,90	0,6	1,00	1,00	1,00	
Rússia	2,70	1,90	-9,20	9,00	0,80	-0,7	2,20	0,80	0,30	0,90	1,10	1,00	
Espanha	1,20	2,10	-26,50	13	10,4	8,30	3,30	1,60	0,6	0,20	0,00	0,20	
Itália	2,70	1,00	-5,80	10,70	6,80	1,80	1,40	1,10	2,2	0,5	-0,10	0,00	
Ásia-Pacífico	44,20	7,70	-4,10	10,30	9,50	9,80	6,30	5,70	5,20	4,10	3,50	2,80	
China	27,90	13,3	9,10	14,9	7,00	8,30	6,80	6,60	7,5	4,70	3,80	2,90	
Índia	2,80	1,8	-18,70	6,90	23,7	12,10	8,30	8,00	7,5	4,70	3,80	2,90	
Indonésia	1,40	6,40	-15,00	3,20	22	9,70	7,50	7,50	5,00	5,9	5,00	4,00	
Japão	5,30	-1	-25,10	-0,9	10,40	19,8	4,00	1,8	0,60	0,80	0,30	0,40	
Austrália	1,60	1,9	-23,00	5,70	9,30	9,40	5,30	3,30	2,1	2,5	1,7	1,4	
Oriente Médio e África	5,20	2,70	-11,80	5,30	9,9	5,40	3,90	3,60	2,10	2,80	3,1	2,80	

Fonte: Adaptado de Sondh (2022).

Conforme o estudo de Sondh (2022), são identificados como os principais impulsionadores do setor de logística: as condições econômicas, as cadeias de suprimentos globais, as inovações tecnológicas e a sustentabilidade. A seguir, esses impulsionadores são explanados.

a. Condições Econômicas:

- Maior mobilidade a partir do controle da pandemia da COVID-19, aumentando a demanda por transporte.

- Tensões geopolíticas e aumento do preço das *commodities* que elevam os custos com combustível afetando os consumidores a partir de tarifas mais altas.
- b. Cadeias de Suprimento Globais:
 - Para aumentar a resiliência da cadeia de suprimentos, os setores se concentraram principalmente na lógica *just-in-time*.² Espera-se que no futuro o modelo de gestão de estoques seja modificado para a lógica *just-in-case*.³
 - Espera-se o aumento na demanda por instalações de armazenamento – armazenar estoque, evitar atrasos, reduzir o impacto das interrupções na cadeia como ocorreu com a guerra e com a pandemia da COVID-19. Além da importância da entrega de última milha.
- c. Inovações Tecnológicas:
 - Maior investimento na digitalização da armazenagem, robótica e o início da indústria 5.0 devem aumentar a produtividade do setor e a eficiência da cadeia de produção.
 - Maiores gastos e investimentos em tecnologia inteligente e automação, como o *Blockchain*,⁴ permitirão maior controle em tempo real dos processos de transporte e logística, aumentando a transparência, flexibilidade e possibilitando crescimento das operações.
- d. Sustentabilidade:
 - Aumento na demanda e no interesse pela energia verde e pela descarbonização em médio prazo.
 - A logística verde pode aumentar o custo dos negócios, a partir da pressão pelo alcance das metas de redução de CO₂. A demanda pode ser modificada se esse custo for repassado para o consumidor.

Na Tabela 20.1 é apresentada a projeção de crescimento da produção global dos subsetores de transporte e logística até 2025, dividido pelos quatro principais segmentos (transporte terrestre e por dutos, transporte aquático, transporte aéreo e outros transportes e serviços de armazenamento).

2 A ideia visa evitar situações em que o estoque excede a demanda.

3 Estratégia de manter o nível de estoque alto e evitar um “*backorder*” – quando o cliente tem uma demanda que a empresa não consegue dar conta. A gestão “*Just in case*” se previne contra fatores que podem causar surpresas ruins como mal tempo, problemas no transporte, alterações nos preços dos combustíveis, entre outros.

4 Armazena periodicamente informações de transações em lotes, chamados blocos. Esses recebem uma impressão digital chamada *hash* – código matemático único – e são interligados em conjunto, em ordem cronológica, formando uma linha contínua de blocos. É considerada, por alguns especialistas, como a inovação tecnológica mais importante desde a criação da internet.

Tabela 20.1 – Crescimento da Produção Global dos Subsetores de Transporte e Logística

	Mudanças percentuais anuais					
	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Transporte e Armazenamento	-9,7	8,8	8,5	7,1	4,5	4
Transporte terrestre e transporte por dutos	-7,7	8,9	8	6,9	4,4	4
Transporte aquático	-10,9	5,3	6,1	8,8	4,6	3,7
Transporte aéreo	-25,4	12,4	17,8	10	4,7	4,1
Outros transportes e serviços de armazenamento, incluindo armazenagem e atividades postais	-6,2	8,2	6,3	6	4,4	4

Fonte: Sondh (2022).

20.2 Países Emergentes

Com relação aos países emergentes a empresa de logística “*Agility Public Warehousing Company KSCP*”, sediado no Kuwait efetua pesquisa anual na qual apresenta índice que classifica os mercados de logística mais promissores entre os principais países emergentes do mundo. Além da criação do ranking a empresa efetua pesquisa primária, na qual tenta identificar tendências e desafios mais relevantes para o futuro do setor.

Frente a esse contexto, os executivos que responderam às perguntas da pesquisa de 2022 escolheram a adoção de novas tecnologias como fator propulsor do crescimento econômico e empresarial dos mercados emergentes. A curto prazo, a tecnologia operacional (plataformas de viabilidade, TIM, sistemas de gestão estoque) seriam o foco principal do setor de logística no período. Na sequência, responderam a implementação de cadeia de suprimentos sustentáveis (a maioria indicou ter dedicado programas em vigor para operações em mercados emergentes), assim como tecnologias da próxima geração como inteligência artificial e *blockchain*, as quais apareceram no topo das prioridades.

A pesquisa indicou um processo lento para mudar o encaminhamento do frete digital. Apenas 9% dos executivos de logística disseram que confiariam metade ou mais de suas reservas para produtos e plataformas digitais. Tecnologia e sustentabilidade estão, cada vez mais, separando líderes dos retardatários entre as economias emergentes.

Líderes do *ranking* digital combinariam uma população conectada, equipe digitalmente qualificada, força de trabalho globalmente compatível e orientada para o futuro. Novo ecossistema de negócios

e cultura de risco empresarial. O grande gargalo para a transformação mundial seria o acesso, principalmente para os países emergentes, onde 37% da população mundial ainda não possui acesso à internet. Mesmo assim, com a pandemia, o número de pessoas que usa internet subiu 17% (Agility, 2022).

20.3 Macrotendências para o futuro

Segundo Svidler (2021), existem quatro macrotendências de longo prazo para o setor de transporte e logística: a mudança em prol da sustentabilidade, a automação, a transformação digital do setor e o crescimento da importância do “*Last mile delivery*”. Essas macrotendências são apresentadas detalhadamente no texto a seguir.

20.3.1 Mudança para sustentabilidade

Muito tem se falado sobre a logística verde, pois a descarbonização da indústria de transportes tem sido encarada como uma das prioridades globais para as próximas décadas, dado o papel significativo que o segmento possui nas emissões de gases estufa. Para se ter um exemplo, segundo relatório da Tendência Consultoria com dados da Confederação Nacional do Transporte (CNT), o Brasil, em 2021, possuía mais de 64% do transporte de carga realizado via transporte rodoviário e prevê que a participação dos modais menos poluentes como o ferroviário e hidroviário dobrem a sua participação na matriz de transportes do País até 2040.

Com mais países introduzindo regulações ambientalmente amigáveis e com consumidores cada vez mais “ecoconscientes”, o setor de transporte e logística se compromete a efetuar cada vez mais cortes substanciais nas emissões de gases do efeito estufa. Como resultado, espera-se que a indústria testemunhe investimentos na modernização da capacidade e da infraestrutura. Além disso, convergindo com o conceito sustentável do setor de transporte e logística, outro ponto esperado é a mudança para eletrificação da frota, adoção de combustíveis alternativos de baixo carbono, assim como a transição para armazenamento eficiente de energia.

De fato, as questões ambientais estarão cada vez mais presentes em um mundo preocupado com o seu futuro. O descarte inadequado e o uso indiscriminado de recursos não renováveis, sejam como matéria-prima ou como fonte de energia, implicam em perdas econômicas

significativas na cadeia de valor e, conseqüentemente, na competitividade de uma organização empresarial. Como modelo econômico baseado nos princípios de regeneração e restauração, a **economia circular** é uma alternativa viável para conceber o desenvolvimento do negócio sustentável. Nesse contexto, falar de **logística reversa** tornou-se algo de tamanha importância para praticamente todas as indústrias de manufatura, porque a garantia do retorno apropriado dos objetos descartados e embalagens envolve a reputação das empresas junto aos consumidores e o cuidado com o planeta em que vivemos.

A logística reversa tem uma forte relação com a economia circular no que diz respeito ao ciclo técnico (restauração e circularidade de materiais) e ambos estão associados ao conceito de sustentabilidade. A Economia circular sugere que a logística reversa vá além da cadeia de suprimentos de uma empresa e não se restrinja a ações de coleta e reciclagem de resíduos para preservar o valor e a utilidade do material em um maior tempo possível, gerando ganhos significativos na cadeia de valor.

No Brasil, por exemplo, com a adoção da Política Nacional dos Resíduos Sólidos – Lei 12.305/2010, diversos setores precisaram encaminhar ações que implementassem sistemas de logística reversa dos produtos e embalagens pós-consumo, priorizando para um novo ciclo de aproveitamento. Já em 2020, o Decreto N° 10.240/2020 estabeleceu normas para a implementação de um sistema de logística reversa obrigatória de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico existentes no mercado interno. Ainda mais atual, no ano de 2022 o governo federal baixou o Decreto 10.936/2022 em substituição a norma anterior e dando uma nova regulamentação à Lei que trata da Política Nacional do Resíduos Sólidos. A principal novidade é a criação do Programa de Política Nacional de Logística Reversa, que visa coordenar e integrar os sistemas de logística reversa, ampliando sua eficiência e efetividade. Com a instituição do Programa Nacional de Logística Reversa, as companhias deverão aprimorar a sua eficiência ambiental no que diz respeito à administração dos resíduos industriais.

20.3.2 Automação

Refere-se à integração de soluções autônomas e robóticas no setor de transporte e logística aumentando a eficiência e a velocidade dos processos, além de prover a redução dos custos de transporte.

A solução é impulsionada pelos avanços tecnológicos globais

e pelo desejo de impulsionar a eficiência e a minimização de custos. É esperado que as empresas de logística possam cada vez mais abraçar os processos de automação. O setor de movimentação e armazenagem de cargas já viu alguns dos maiores crescimentos na adoção de soluções autônomas como a robótica de armazenagem e os *drones*. Espera-se que o setor de transportes avance até 2040, com grandes esforços voltados para o desenvolvimento e utilização de soluções tecnológicas como os veículos autônomos inteligentes e a entrega de mercadorias realizada via *drones*.

A seguir, exemplos de como as soluções e o desenvolvimento de tecnologias de automação podem ser usados aplicados no setor de logística são apresentados.

Veículos automaticamente guiados

Os veículos automaticamente guiados (do inglês, *automated guided vehicles*, os AGVs) são veículos móveis usados para transporte de objetos, similares às empilhadeiras, que se deslocam automaticamente seguindo uma trajetória traçada ou programada. Esses equipamentos têm sido amplamente aplicados em sistemas de logística porque fornecem flexibilidade e eficiência para transportar objetos de um ponto A para um ponto B.

Segundo Saputra & Rinjanto (2015) o sistema AGV foi introduzido em 1955 para transportar materiais e em 1993 foi inicialmente aplicado para transportar contêineres no terminal de Rotterdam – Países Baixos. Comumente, eles são tradicionalmente empregados nos sistemas de manufatura, mas tem recentemente expandido sua popularidade para outras aplicações industriais. Atualmente, o mercado de AGVs está crescendo rápido e de maneira muito dinâmica. Como possíveis causas desse potencial crescimento estão a emergência por sistemas de manufatura flexíveis, o aumento da demanda por veículos customizados e a adoção da automação industrial em pequenos e médios empreendimentos.

Em geral, uma frota de AGVs hoje é organizada de maneira centralizada. Tarefas como o deslocamento planejado e a alocação de tarefas são feitos por uma central que distribui as tarefas para todos os AGVs em conjunto. Contudo, direcionados para um futuro que requer flexibilidade, robustez e escalabilidade na indústria, a tendência é a descentralização dos sistemas AGV. Essa descentralização é definida como uma distribuição da inteligência total de um sistema para seus

componentes: cada dispositivo detém uma parte de uma inteligência total para ser capaz de operar independentemente, em outras palavras, os equipamentos são capazes de se comunicar uns com os outros, além de se organizar de forma independente e descentralizada para completar suas tarefas de forma eficiente.

Drones

Os *drones* são considerados veículos aéreos não tripulados que vem ganhando cada vez mais relevância no setor de logística. De acordo com a consultoria internacional Gartner, Inc., 5,0 milhões de aparelhos devem ser vendidos no mundo até 2025, gerando um possível faturamento de cerca de US\$ 15,2 bilhões a cada ano. A adoção de *drones* como meios de entregas vem a somar com a mudança de comportamento dos clientes, que hoje compram muito mais *online*. A expectativa é que isso mude a forma como a logística de entregas é pensada, afetando inclusive o desenvolvimento imobiliário a partir da inclusão de *drone* pontos (*droneport*) para pousos e decolagens seguros.

Além de entregar pedidos, os *drones* apresentam outras funcionalidades diretamente relacionadas ao setor logístico, uma delas é a inspeção do estado de armazéns ou a realização de inspeção técnica de estantes e auxiliar no gerenciamento do inventário. Nesse último caso, atribui-se aos *drones* a possibilidade de voar pelo armazém de forma controlada, com um plano de voo e rota pré-definida, com câmera incorporada que possibilita realizar a leitura de um identificador por código de barras ou radiofrequência. Essa integração desses veículos com o sistema de gerenciamento do armazém, o Warehouse Management System – WMS, poderá manter um controle muito preciso do estoque do armazém.

Robôs móveis autônomos

No decorrer das últimas décadas, os avanços tecnológicos para os sistemas de movimentação de cargas têm ocorrido rapidamente, o que pode ser comprovado pelo desenvolvimento de robôs móveis autônomos (AMR – sigla para *Autonomous mobile robots*) que tem significativamente ajudado alcançar flexibilidade operacional e aumentar a performance em produtividade, qualidade e, em alguns casos, a diminuir custos logísticos nas indústrias. Por definição, os AMRs são definidos como robôs industriais que usam um processo de tomada de

decisão para navegação livre de colisões, para manuseio de materiais, atividades colaborativas e serviços completos dentro de uma área delimitada. O uso dos AMRs representa um ganho para as operações de intralogística, pois a tomada de decisão de forma autônoma e a descentralização das atividades ocorre graças à inteligência artificial. Abordar várias variáveis de decisão simultaneamente, como determinar o número de veículos, determinar as zonas e localização dos pontos de serviço, a programação simultânea e o planejamento dos caminhos, melhora a compreensão de como diferentes decisões interagem, evita colisões e permite que sua avaliação forneça decisões mais equilibradas.

O uso desses robôs não se restringe aos serviços de manuseio de materiais (recuperar, mover, transportar, classificar etc.), mas também em atividades colaborativas e interativas e de serviço completo. Engana-se quem pensa que esses robôs são utilizados apenas em armazéns, uma vez que eles também são utilizados para transportar e carregar bagagens em hotéis, transportar medicamentos pelo interior de hospitais, carros em estacionamentos e contêineres em terminais.

Veículos autônomos para transporte de passageiros

Veículos autônomos são a nova fronteira das companhias de mobilidade compartilhada. Avanços nas tecnologias estão levando as companhias a alcançar a autonomia total do veículo, apesar do lento progresso. As empresas, cuja principal atividade é o transporte de passageiros, são atraídas por veículos autônomos devido a sua capacidade de remover os custos com motoristas, mas o futuro dos veículos autônomos em um ambiente de mobilidade compartilhada provavelmente trará mais desafios antes que as oportunidades possam ser concretizadas.

Um desafio está relacionado ao alto custo de desenvolvimento de veículos autônomos. Esses empreendimentos ainda exigem grandes quantidades de pesquisa e testes. Além disso, a regulamentação vigente também precisará ser revista para que veículos autônomos sejam permitidos nas estradas. Atualmente, todos os veículos precisam de um ser humano para supervisionar a viagem, o que significa que veículos totalmente autônomos ainda não podem ser usados comercialmente.

20.3.3 Transformação Digital

Refere-se à inserção das tecnologias digitais, o que possibilitará um processo de mudanças positivas para o setor fornecendo maior eficiência operacional, flexibilidade, segurança e transparência, assim

como a queda de custos. A utilização de *big data*, inteligência artificial, computação em nuvem e tecnologia *blockchain* desempenham cada vez mais papel significativo no setor de transporte e armazenamento.

A transformação digital e a adoção de soluções digitais continuarão a desempenhar um papel significativo nos segmentos de Transporte e Armazenamento. Espera-se que a adoção do *big data* e a análise preditiva a partir desses dados possa ajudar as empresas a prever a demanda, otimizar rotas, reduzir o tempo de entrega e melhorar o gerenciamento de estoques e outros benefícios.

O uso da Internet das Coisas (IoT) e da identificação por radiofrequência (*RFID*) ajudará a implementar rastreamento em tempo real, além de melhorar a visibilidade da cadeia de suprimentos, identificar os riscos da cadeia de suprimentos, além de melhorar o gerenciamento do estoque. A pandemia também possibilitou a digitalização da papelada e da documentação eletrônica para logística de viagens.

Inteligência artificial e *Machine Learnig*

Com os avanços das tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 e, conseqüentemente, com os inúmeros interesses em pesquisas relacionadas à inteligência artificial, têm-se desenvolvido algoritmos de aprendizado de máquina para selecionar materiais a fim de aumentar a eficiência e reduzir os impactos ambientais, para detectar a alocação de tarefas dos robôs veiculados ao sistema de gerenciamento do armazém e auxiliar na reconciliação contínua do estoque. Com a inteligência artificial é possível selecionar a distribuição ideal de múltiplos objetos de diferentes centros de distribuição (CDs) para um único usuário. Por exemplo: imagine que você faça uma única compra *online* de dois produtos, um produto A e um produto B, pelo aplicativo digital de uma mesma loja. No entanto, ambos os dois produtos não estão disponíveis em um único centro de distribuição. Logo, com algoritmos treinados é possível prever a melhor combinação de variáveis, como distância de centros de distribuição e disponibilidade, para realizar a entrega dos produtos para o cliente no menor tempo possível, mantendo a qualidade e segurança.

Combinado à Internet das Coisas (IoT), o *Machine Learnig* na logística permite que toda a cadeia de suprimentos seja acompanhada em tempo real, melhorando a comunicação e os resultados de entrega. Reduzir os custos de frete, melhorar o desempenho da entrega do fornecedor e minimizar o risco do fornecedor são três dos muitos benefícios

que o aprendizado de máquina está fornecendo em redes colaborativas na cadeia de suprimentos.

Redes 5G

A tecnologia desempenhará um papel crítico na cadeia de suprimentos, de tal modo que as operações logísticas terceirizadas estão buscando e investindo em tecnologias emergentes que possam agregar valor e eficiência como: redes 5G, transmissão de dados em tempo real, Internet das Coisas e Análise de Dados.

O 5G, a 5ª geração de redes móveis, foi projetado para fornecer conectividade abrangente entre praticamente tudo e todos, incluindo máquinas, objetos e dispositivos, permitindo que os usuários movam quantidades mais significativas de dados com mais rapidez. Como resultado, deve-se aprimorar as operações da cadeia de suprimentos, o desempenho e as comunicações em tempo real, impulsionando a cadeia de suprimentos digital. A capacidade de fornecer dados em tempo real, que permite visibilidade e gerenciamento de exceções, pode criar uma vantagem competitiva para os prestadores de serviços terceirizados.

Outras tecnologias aplicadas na intralogística

Com o advento da digitalização e automação, algumas tecnologias que já têm se mostrado presentes nos armazéns industriais serão ainda mais exploradas. Pode-se citar como exemplos a utilização de sistemas de comando *pick by light* e *voice picking*, o uso de **óculos inteligentes** integrados ao sistema de gerenciamento de armazéns, o uso de *plataformas digitais multiconectadas* e a adoção de prateleiras inteligentes.

O desenvolvimento e aperfeiçoamento de sistemas *pick by light* consistem em sinalizar para o operador, de maneira visual, o local e a quantidade de produtos que precisam ser retirados do endereço indicado. Compõem dispositivos com luzes e números que podem ser incorporados em estantes dinâmicas para caixas ou paletes.

Nessa temática também é considerado o sistema *voice picking* que consiste em um método de separação realizado por comando de voz, através de um aparelho e um *headset* utilizado pelo operador. Em outras palavras, são terminais informáticos dotados de sintetizadores e sistemas de reconhecimento de voz, e que, portanto, podem dar instruções e receber as confirmações mediante uma comunicação oral com o

preparador.

Uma das tecnologias que já é amplamente empregada nos armazéns ou centros de distribuição é a tecnologia de *RFID* (Identificação por Radiofrequência) que consiste basicamente em três elementos: etiqueta *RFID*, leitor e antena *RFID* e *middleware*. Essa tecnologia vem se tornando uma alternativa vantajosa às disseminadas etiquetas com códigos de barra, pois as etiquetas *RFID* utilizam um *chip* como mecanismo para arquivar as informações necessárias. Para realizar a leitura do código, não há necessidade de contato entre o leitor e a etiqueta, fato que permite uma maior agilidade na coleta de informações. Vislumbra-se que para os próximos anos, cada vez mais serão desenvolvidas tecnologias de *RFID* integradas com outras tecnologias para o rastreamento de objetos em tempo real e gerenciamento de estoque. Essa tecnologia aplicada à indústria propicia o monitoramento *Just in Time* nas posições da linha de montagem e abastecimento.

20.3.4 Importância do “*Last mile delivery*” – Logística de última milha

A partir da expansão do *e-commerce* e o aumento da demanda dos consumidores por conveniência e o apreço pela “experiência da compra”, os armazéns, principalmente os que servem a última milha, têm de manter as suas operações ágeis e conseguir dar resposta aos requisitos que mudam rapidamente devido às exigências do *multichannel*⁵ e *omnichannel*,⁶ relacionadas com a rapidez do nível de serviço necessário para garantir as entregas no próprio dia ou dia seguinte.

Para reduzir os custos da cadeia de suprimentos e minimizar os prazos de entrega, as empresas do setor, cada vez mais investem nos centros de distribuição com o foco no cumprimento de prazos, principalmente na última etapa de entrega do produto, já que com o avanço da tecnologia as pessoas acompanham as etapas de entrega ficando ansiosas com a última etapa.

Embora a pandemia da COVID-19 tenha proporcionado o au-

5 A estratégia *Multichannel* é baseada em oferecer mais de um canal de comunicação com os clientes.

6 A estratégia *Omnichannel* se baseia no uso simultâneo e interligado de vendas com o objetivo de estreitar a relação entre o *online* e *offline*, aprimorando, assim, a experiência com o cliente. Consiste na evolução da estratégia *multichannel*, viabilizando essa integração entre os canais.

mento das compras *online*, ela também fortaleceu a demanda dos consumidores por conveniência, incluindo a “entrega expressa e gratuita de última milha”.

Para acompanhar o crescimento da demanda e mudança de preferências dos consumidores, as empresas do segmento têm focado na expansão da capacidade de atendimento, entrega, frotas e pontos de coleta, bem como na descentralização dos locais de armazenagem. Os grandes varejistas que operam em *e-commerce* continuam, cada vez mais, a investir em sistemas logísticos próprios para reduzir os custos de transporte e a dependência de serviços de entrega externos à empresa.

20.4 Considerações Finais

Neste capítulo foram abordados aspectos econômicos e tendências em tecnologias de logística, no que engloba o segmento de transporte e armazenamento. É sabido que são vários os desafios que as empresas se deparam à medida que ocorrem alterações de mercado e, conseqüentemente, ajustes nas operações logísticas tornam-se uma realidade. Nesse ponto, a automação e as tecnologias digitais têm apresentado soluções para um caminho sem volta, que garante uma maior eficiência nos centros de logística e distribuição, proporcionando respostas mais rápidas a pedidos e agilidade nas entregas. Nos próximos anos, à medida que o custo de aquisição dessas modernas tecnologias venha a diminuir, empresas de diferentes portes poderão implementá-las nos seus armazéns. Ademais, ao mesmo tempo que as empresas tendem a usufruir de operações mais inteligentes, dispendo de tecnologias de automação e digitalização, a consciência ambiental para um planeta mais sustentável é uma certeza irredutível. Logo, como já mencionado no texto, a tecnologia e a sustentabilidade irão diferenciar os líderes dos retardatários.

Este capítulo buscou apresentar a importância e o desenvolvimento tecnológico que permeará o segmento de logística e transporte para os próximos anos. O aumento da intensidade tecnológica embarcada, a busca de melhores níveis de produtividade, em um ambiente de mobilidade cada vez mais complexo, e o impacto dos sistemas logísticos de transporte em um mundo altamente conectado e acelerado permitem confirmar este tema como uma megatendência.

A seguir, é apresentada uma síntese das sementes de futuro identificadas para o segmento de logística e transporte.

Tendências

- Expansão da rede de transporte de cargas e passageiros permitindo maiores fluxos de pessoas e bens.
- Desenvolvimento e aprimoramento de algoritmos para a determinação de alocação de tarefas de robôs no sistema de gerenciamento de armazém.
- Desenvolvimento de algoritmos de *machine learning* para seleção de materiais a fim de melhorar a eficiência e reduzir o impacto ambiental.
- Uso de modelos de *CLOUD computing* para o gerenciamento inteligente dos sistemas de gerenciamento de armazéns (WMS).
- Desenvolvimento de sistema *CLOUD-based* integrado com *RFID* para rastreabilidade de fluxo de materiais e informações das cadeias de suprimentos.
- Aprimoramento de tecnologias de geolocalização para rastreamento automático e instantâneo de cargas.
- Desenvolvimento de práticas combinadas de *Lean e Green manufacturing (Logística verde)*.
- Uso de inteligência artificial, *big data* e *blockchain* permitindo a integração segura das tarefas da logística inteligente (logística 4.0).
- Uso de robôs móveis autônomos (*autonomous mobile robots*) para transferência de cargas.
- Uso de veículos aéreos não tripulados (*drones*) para operações logísticas.
- Transparência e visibilidade em tempo real dos elos da cadeia de suprimentos.

Surpresas Inevitáveis

- Aplicação de tecnologias de IIoT (*Industrial Internet of Things*) para melhorar o desempenho das operações logísticas fornecendo atualização em tempo real e conectando informações nos processos de produção.
- Glocalização acelerada pelas crises.
- Uso de sistemas de transporte aéreo OHT (*Overhead Hoist Transport*) consistindo em vários veículos movendo-se em alta velocidade sobre trilhos guiados.
- Aumento de incidências de desastres naturais podendo interromper a produção e o transporte.
- Implementação do modelo de economia circular nas empresas.
- Uso de veículos guiados automaticamente (*Automated Guided*

Vehicles) para aprimorar o fluxo de materiais e reduzir custos logísticos.

- Expansão da mobilidade urbana responsável.
- Plataformas digitais multiconectadas integrando todos os elos da cadeia.

Evento de interrupção

- Colapso do trânsito urbano.

Referências

MARCIAL, E.C. et al. Megatendências mundiais 2040: resultados preliminares. Relatório Técnico-Científico da Universidade Católica de Brasília (RTC-UCB). Brasília: Universidade Católica de Brasília, 2021.

SVIDLER, ALEKSANDRA.; Transport and Storage Global Industry Overview, outubro, 2021. Euromonitor international, 2021.

SONDH, KIKI. Global Industry Forecast: Transport and Logistics, abril, 2022. Oxford Economics, 2022.

AGILITY. 2022 Agility Emergind *Markets* Logistics Index. Agility Public warehousing Company KSCP. 2022.

SAPUTRA, R. P.; RIJANTO, E. Automatic Guided Vehicles System and Its Coordination Control for Containers Terminal Logistics Application. International Logistic Seminar and Workshop 2012, Jakarta, 2012.

DE RICK, M.; VERSTEYHE, M.; DEBROUWERE, F. Automated guided vehicle systems, state-of-the-art control algorithms and techniques. Journal of Manufacturing Systems. Belgium, 2020

GARTNER, INC. Report Highlight for *Market Trends: Evaluate Drone* Opportunities in Manufacturing and Natural Resources, 2020.

BRASIL. Lei N° 12.305 de 02 de agosto de 2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), 2010.

TENDÊNCIAS CONSULTORIA INTEGRADA. Perspectivas para o segmento de logística, 2021.

TRIGUEIRO, FELIPE. Whitepaper Logística e Supply Chain 4.0. Delage, 2021.

PISOKE, MARC. Logistic: Resilience Delivered. Roland Berger, 2021

INTRALOGÍSTICA 4.0: Novas tecnologias para o setor. Intermodal Digital, 2022. Acesso em 06/04/2022.

26th Annual Third-Party Logistics Study. Penske Logistics, 2022. Acesso em 05/04/2022.

Parte VI – *Meio Ambiente*

Por Ariel Pares¹

A perspectiva relativa à dinâmica ambiental adotada no trabalho que originou o *Megatendências Mundiais 2030* (IPEA, 2015) manteve sua trajetória de deterioração inalterada. Contudo nos próximos 20 anos a geração e difusão de tecnologias em direção a uma economia de baixo carbono, de menor pressão sobre os recursos naturais e um habitat humano menos poluente e mais solidário em relação às regras que regem a natureza dão sinais claros de oportunidades para uma reversão lenta, porém progressiva dessa tendência secular. Nesse contexto, devem surgir novas oportunidades para pessoas, regiões, setor produtivo e governos para melhorar a forma como vivemos, trabalhamos e prosperamos.

A prospectiva ambiental tem uma particularidade central relacionada a amplitude da agenda pois sofre o impacto positivo e negativo das demais dimensões: *população e sociedade, ciência e tecnologia, economia e geopolítica*, ditando em grande parte o seu futuro enquanto oportunidades e ameaças para si e as demais dimensões. As perspectivas de longo prazo para os ecossistemas mundiais dependem do curso do desenvolvimento global nas próximas décadas. As atuais tendências globais e dinâmicas ecológicas são consistentes com resultados muito diferentes, definidos por suposições alternativas sobre os aspectos tecnológicos, econômicos, demográficos, *geopolíticos* e sociais do desenvolvimento e as formas pelas quais instituições, valores pessoais e públicos e sistemas naturais podem ser esperados para responder a estressores historicamente novos.

Avanços recentes na análise de cenários abordaram o duplo desafio metodológico de explorar essas incertezas de forma organizada e determinar o que seria necessário para fazer a transição para a sustentabilidade. Este artigo revisa a pesquisa de cenário global, colocando os esforços atuais em um contexto histórico. Ele se concentra em sete es-

¹ Mestrado em Desenvolvimento Econômico, Paris III Sorbonne Nouvelle. Professor da Escola Nacional de Administração Pública. Especialista em planejamento e pesquisador colaborador do Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos na Universidade Católica de Brasília (NEP-UCB).

tudos recentes que são abrangentes, regionalmente desagregados e narrativamente ricos – e, portanto, de maior relevância para a Avaliação do Ecossistema do Milênio (MA). Ele resume suas visões sociais e o nível de detalhe quantitativo usado nesses exercícios. Tomados em conjunto, este conjunto de estudos de cenário global fornece uma plataforma útil para o MA, oferecendo uma visão sobre os fatores complexos que impulsionam a mudança do ecossistema, estimando a magnitude das pressões regionais sobre os ecossistemas, alertando sobre incertezas críticas que poderiam minar o desenvolvimento sustentável, e compreender a importância das instituições e dos valores. Mas esses estudos são apenas um ponto de partida. A integração das mudanças nas condições do ecossistema em cenários de desenvolvimento global, tanto como efeitos quanto causas, está na vanguarda da análise de cenários. O artigo conclui identificando direções para este programa de pesquisa e sugerindo maneiras pelas quais o MA pode contribuir para esse esforço.

O fio condutor dessa relação complexa está na reciprocidade que mantém o *meio ambiente*, por meio dos serviços ambientais² que promove, com o padrão de produção e consumo e sua organização social. O impacto sobre os serviços ambientais ou o seu uso sustentável revelam as tendências e incertezas que implicam parte expressiva da dimensão ambiental desse trabalho.

produção e consumo e sua organização social. O impacto sobre os serviços ambientais ou o seu uso sustentável revelam as tendências e incertezas que implicam parte expressiva da dimensão ambiental desse trabalho.

As consequências materiais e humanas decorrentes das mudanças climáticas com aumento de eventos climáticos extremos, elevação

2 Serviços ambientais são benefícios, materiais ou não, oferecidos pelos sistemas naturais que contribuem diretamente para o bem-estar humano. Podem ser de quatro tipos. Serviços de provisionamento de bens, como alimentos (frutos, raízes, pescado, caça, mel), energia (lenha, carvão, resíduos, óleos), fibras (madeiras, cordas, têxteis), fitofármacos, recursos genéticos e bioquímicos, plantas ornamentais e água potável. Serviços de regulação, que incluem as funções de purificação do ar, regulação do clima, purificação das águas, controle de enchentes e outros desastres naturais, controle da erosão solo, tratamento de resíduos, desintoxicação, controle de pragas e regulação de doenças. Serviços de suporte, ou sustentação da vida, que incluem a formação de solos, a formação de habitats, a ciclagem de nutrientes, a produção de oxigênio e a produção primária (fotossíntese). Serviços culturais, que contribuem para a identidade cultural e territorial dos povos, os valores espirituais e religiosos, os conhecimentos tradicionais, os valores estéticos, os simbolismos, o lazer e o ecoturismo. (Global Scenarios: Background Review for the Millennium Ecosystem Assessment, 2005, Paul D. Raskin).

das temperaturas, alteração do padrão de chuvas e períodos secos, aumento do nível do mar devem afetar todos os países do mundo, porém de forma desproporcional e com mais rigor os países em desenvolvimento e os com maior incidência de pobreza. Em outras palavras, os custos e desafios impostos ao mundo em desenvolvimento devem ser desiguais, influenciando fortemente a evolução da degradação ambiental e amplificando os riscos a segurança hídrica, alimentar, a saúde humana e energética. Em consequência, uma probabilidade crescente de pressões migratórias.

É provável que novas tensões e conflitos sociais, políticos e *geopolíticos*, dentro e entre os países, decorram do encontro de contas entre um novo padrão de produção e consumo emergente e o modelo vigente, tributário de interesses e percepções distintas sobre as variáveis que devem compor a equação desenvolvimento e *meio ambiente*. O aumento de incertezas quanto ao ritmo e direção de processos de mitigação e adaptação, em curso, deve ser proporcional a geração de novas oportunidades e benefícios na esteira de uma saída para o crescente descolamento entre desenvolvimento e *meio ambiente*. É previsível a presença de conflitos e instabilidade social, dentro e entre os países, face ao crescente reconhecimento por parte da população dos riscos socioambientais cujas consequências se fazem sentir em todas as regiões do mundo, porém com cargas desproporcionais na distribuição dos efeitos.

Assim, a dinâmica da dimensão ambiental para os próximos 20 anos implica três eixos de mudanças, com efeitos simultâneos e interconectados pautada um crescimento das incertezas em meio a tendências em nada otimistas. As mudanças climáticas devem trazer um aumento das temperaturas, o derretimento das calotas, em especial do Ártico, o aumento do nível do mar e o advento mais frequente de eventos climáticos extremos. A degradação ambiental deve se fazer mais presente na perda, distribuição e qualidade das águas, na degradação dos solos e erosão da biodiversidade e um aumento dos níveis de poluição do habitat humano. A erosão da segurança humana, consequência direta dos dois processos anteriores, com impactos na segurança hídrica, alimentar e energética. Também a saúde humana será crescentemente afetada. E não menos importante deve ocorrer a perda de capital natural ou perda do patrimônio natural, com impactos diretos sobre o ritmo e riscos da atividade *econômica*, perda de empregos e renda.

A dimensão ambiental assim como a de *ciência e tecnologia* tendem a um processo de intercessão cada vez mais profunda ao tempo em que suas dinâmicas se aceleram e convergem na direção de um novo

padrão de produção e consumo. Há uma percepção majoritária de que qualquer projeto para uma sociedade sustentável deve passar pelo desenvolvimento acelerado de conhecimentos e inovações. A deterioração das condições ambientais para assegurar o desenvolvimento econômico e social tendem a pressionar as capacidades da CT&I em buscar saídas para um novo arranjo mais harmônico e sustentável da relação sociedade e *meio ambiente*.

Incertezas, porém, aparecem nesse horizonte em dois campos de ação dessa convergência esperada. De um lado a existência de velocidades distintas entre a geração e absorção de novas tecnologias voltadas para mitigação e a velocidade, intensidade e amplitude com que o modelo vigente de produção e consumo da sociedade gera emissões de CO₂, poluição do habitat humano, do mar e dos demais recursos hídricos, bem como da degradação dos ecossistemas com a aceleração do consumo de recursos naturais, vivos e minerais. De outro, a distribuição mais uma vez assimétrica e desproporcional entre as regiões mais desenvolvidas e as em desenvolvimento pelos benefícios e a consequente abertura de novos negócios, geração de emprego e renda. A reconversão para a denominada economia verde, já em curso, não tem assegurado o princípio de responsabilidades diferentes, porém solidárias entre os países para um planeta mais sustentável e incluyente. A competição dos governos para essa nova fronteira deve ditar parte expressiva da geopolítica nas próximas duas décadas.

Em meio ao aumento das incertezas, tensões e instabilidade social dentro e entre países, o papel dos governos, da cooperação corporativa e a das organizações da sociedade deve, apesar de isso aumentar. De um lado, com ampliação de estímulos à mitigação junto ao setor produtivo, em especial por meio de tecnologias no campo da energia/desmatamento/reciclagem. De outro, com mudanças na organização da sociedade e promoção de processos de adaptação com vistas ao aumento da resiliência das comunidades para conter a erosão da segurança humana e a degradação ambiental.

Se o primeiro desafio é examinar as forças que ordenam o ambiente estratégico futuro, o outro é especular sobre como a sociedade e os líderes reagirão a essas forças. É essa história sobre o futuro da dimensão física e viva do planeta que precisa ser contada de forma coerente, integrada e com uma visão de futuro na forma de um roteiro crível.

Capítulo 21

Meio ambiente

Por Ariel Pares¹

¹ Mestrado em Desenvolvimento Econômico, Paris III Sorbonne Nouvelle. Professor da Escola Nacional de Administração Pública. Especialista em planejamento e pesquisador colaborador do Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos na Universidade Católica de Brasília (NEP-UCB).

Meio ambiente

Nos próximos 20 anos, os efeitos físicos das mudanças climáticas devem continuar afetando todos os países com aumento do nível médio das temperaturas, Derretimento do Ártico, elevação do nível do mar e uma frequência maior de eventos climáticos extremos, o fenômeno mais eloquente dessas mudanças do ponto de vista social e econômico. As atividades humanas foram responsáveis por aumentar a temperatura média global entre 0,8°C e 1,2°C, conclusão respaldada pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), causando derretimento das calotas polares, aumento do nível do mar, tempestades e ondas de calor mais intensas e um oceano mais ácido, de acordo com o IPCC. A última década foi a mais quente registrada. É a confirmação de uma sequência histórica onde as décadas seguintes mostram médias mais altas que as anteriores.¹

Nesse ritmo, o aquecimento global provavelmente atingirá 1,5°C entre 2030 e 2052 se continuar a aumentar na taxa atual. O aquecimento global antropogênico estimado está aumentando atualmente em 0,2°C (provavelmente entre 0,1°C e 0,3°C) por década devido a emissões passadas e em andamento. Os riscos futuros relacionados ao clima dependem da taxa, pico e duração do aquecimento. No total, eles são maiores se o aquecimento global exceder 1,5°C antes de retornar a esse nível em 2100 do que se o aquecimento global estabilizar gradualmente em 1,5°C, especialmente se o pico de temperatura for alto (por exemplo, cerca de 2°C). Alguns impactos podem ser duradouros ou irreversíveis, como a perda de alguns ecossistemas. Adaptação e mitigação já estão ocorrendo. Os riscos futuros relacionados com o clima seriam reduzidos pela ampliação e aceleração da mitigação climática de longo alcance, multinível e intersetorial e por adaptação incremental e transformacional. Segundo a Avaliação Climática Nacional dos EUA² há sinais de atingir 2°C em meados do século, mesmo que nesse período se pudesse alcançar emissões líquidas zero, renunciando um desastre de grandes proporções. Para o IPCC, com algoritmos crescentemente sofisticados e cada vez mais robustos do ponto de vista científico, não dá para mostrar

1 Relatório especial de Avaliação no 6, relativo à 52ª Sessão do Painel do IPCC, 2021.

2 EUA – Estados Unidos da América.

a radicalidade dos eventos extremos se passarmos de um aumento de 1,5°C para 2,0°C, num horizonte entre meados do século e 2100. Com um desastre pavimentado por secas, enchentes, incêndios florestais, furacões destrutivos que já estão em ascensão pelo globo e deixam um rastro negativo de perdas humanas e econômicas. Em 2020, o Fórum Econômico Mundial apontou pela primeira vez apontou as mudanças climáticas como o principal risco global no longo prazo e a degradação ambiental aparece como uma ameaça existencial para a humanidade. O campo das incertezas, no que respeita às mudanças climáticas, giram todas em torno da principal incógnita ambiental: será viável conter a elevação média das temperaturas em 1,5°C, num horizonte entre 2040 e 2100, ou aceitamos o custo desconhecido de um desastre anunciado se passarmos para 2,0°C.

Frear o aquecimento global é o grande desafio do nosso tempo. Depois da assinatura do Acordo de Paris em 2015, tratado internacional para combater o aquecimento global com a adesão de 195 nações, incluindo EUA e China, ausentes no passado, o objetivo é limitar o aumento da temperatura média a 1,5°C até 2100 e evitar a todo custo que ultrapasse 2°C. Tudo leva a crer que estejamos perto dessa meta de 1,5°C, entre 2030 e 2040. São cálculos feitos com base em modelos climáticos que analisam quais seriam os efeitos das mudanças climáticas na Terra caso as emissões de gases efeito estufa continuem no mesmo ritmo ou reduzam. Os modelos estão se sofisticando e hoje permitem que se associe variações do clima e o comportamento edafoclimático por regiões identificando mudanças no padrão de produção dessas regiões, estimando os impactos sobre a produtividade *econômica*, custos sociais e a produtividade dos serviços ambientais ou quando esses mostram sinais de colapsar ou possam atingir níveis de não retorno ao sistema natural original.

Assim, os efeitos físicos das mudanças climáticas vão provavelmente se intensificar num ritmo diferente daquele que preveem os modelos climáticos a partir da segunda metade do século XXI, assinalando consequências dramáticas. O modelo de negociação predominante na atualidade, baseado em metas de zero líquido de emissões não leva em conta o efeito cumulativo de emissões que foram feitas no passado, que duram milhares de anos, e as que virão a ser realizadas embora compensadas com a supressão de CO₂, uma vez que a contabilidade afere apenas o daqui para frente.

21.1 Derretimento das calotas em especial no Ártico e aumento do nível do mar

O derretimento das calotas, em especial do Ártico e o aumento do nível do mar devem se ampliar. O nível do mar aumentou de 20 a 23 centímetros desde o final do século 19. As estimativas de aumento nos próximos 20 anos variam de 7 a 35 centímetros. Um interstício gerador de grandes incertezas, na medida que cria uma ameaça severa para as cidades costeiras e ilhas de topografia baixa (Global Trends 2040, 2021³). Projeções baseadas em modelos do aumento médio global do nível do mar (em relação a 1986–2005) sugerem uma faixa indicativa de 0,26 a 0,77 m até 2100 para 1,5°C de aquecimento global, 0,1 m (0,04-0,16 m) menos do que para um aquecimento global de 2°C. Uma redução de 0,1 m no aumento global do nível do mar implica que até 10 milhões de pessoas a menos estariam expostas a riscos relacionados, com base na população no ano de 2010.⁴ A elevação do nível do mar continuará além de 2100, mesmo que o aquecimento global seja limitado a 1,5°C no século 21. A média das temperaturas no Ártico estão aumentando sucessivamente, em grande parte em decorrência de loops de feedback positivo (o aquecimento amplia mais que linearmente o aquecimento subsequente) que levam a novos aumentos de temperatura e risco de aquecimento descontrolado e derretimento do gelo e da cobertura de neve. O fenômeno causa perdas de camadas de gelo e geleiras e uma redução na extensão e espessura do gelo marinho. Um exemplo desse fenômeno é o fato do derretimento desse gelo marinho substituir a geleira pela superfície de água do mar que é escura e absorve o calor mais rapidamente levando a um derretimento mais rápido da camada de gelo.

Limitar o aquecimento global a 1,5°C em comparação com 2°C é projetado para reduzir os aumentos na temperatura do oceano, bem como aumentos associados na acidez do oceano e diminuições nos níveis de oxigênio do oceano (Alta confiança). Conseqüentemente, a limitação do aquecimento global a 1,5°C é projetada para reduzir os riscos para a biodiversidade marinha, a pesca e os ecossistemas, e suas funções e serviços para os seres humanos, conforme ilustrado pelas recentes mudanças no gelo marinho do Ártico e nos ecossistemas de recifes de corais de águas quentes.⁵

3 Global Trends 2040, Office of the Director of National Intelligence, 2021.

4 Relatório especial de Avaliação no 6, relativo à 52ª Sessão do Painel do IPCC, 2021.

5 Relatório especial de Avaliação no 6, relativo à 52ª Sessão do Painel do IPCC, 2021.

Prevê-se que o aquecimento global de 1,5°C mude as áreas de distribuição de muitas espécies marinhas para latitudes mais altas, bem como aumente a quantidade de danos a muitos ecossistemas. Espera-se também que leve à perda de recursos costeiros e reduza a produtividade da pesca e da aquicultura (especialmente em baixas latitudes). Os riscos de impactos induzidos pelo clima são projetados para serem maiores a 2°C do que aqueles com aquecimento global de 1,5°C (alta confiança). Os recifes de coral, por exemplo, são projetados para diminuir em mais 70-90% a 1,5°C com perdas maiores (>99%) a 2°C (confiança muito alta). O risco de perda irreversível de muitos ecossistemas marinhos e costeiros aumenta com o aquecimento global, especialmente a 2°C ou mais.

O nível de acidificação dos oceanos devido ao aumento das concentrações de CO₂ associado ao aquecimento global de 1,5°C é projetado para amplificar os efeitos adversos do aquecimento, e ainda mais a 2°C, impactando o crescimento, desenvolvimento, calcificação, sobrevivência e, portanto, abundância de uma ampla gama de espécies, por exemplo, de algas e peixes.⁶

Outro loop de feedback positivo ocorre, por exemplo, na superfície circundante ao Ártico. O derretimento do gelo de pântanos, do permafrost⁷ libera metano, um dos mais agressivos dos gases de efeito estufa, pela exposição mais frequente dessas terras à medida que vão perdendo sua camada de gelo. Nessa parte da terra, o degelo do permafrost tende a causar problemas, inclusive ao funcionamento da infraestrutura local, sistemas de transporte, dutos (Global Trends 2040, 2021).

A distribuição do aquecimento, com surtos de calor mais intensos, deverá ser provavelmente assimétrica ao longo do planeta. Há uma possibilidade maior de afetar, para além do Ártico, o Centro e o Leste da América do Norte, a Europa Central, Região mediterrânea (incluindo o Sul da Europa, Norte da África e o Próximo Oriente), o Oeste e Centro da Ásia e Sul da África. Mas, é nos trópicos, que há chances de

6 Relatório especial de Avaliação no 6, relativo à 52ª Sessão do Painel do IPCC, 2021.

7 Permafrost é um termo em inglês que poderia ser traduzido livremente como “permanentemente congelado“. Uma conceituação mais formal, como a apresentada pela API (International Permafrost Association), define permafrost como uma superfície que permanece a temperaturas abaixo de 0° por pelo menos 2 anos consecutivos e que pode ser constituída tanto por solo, como rochas, gelo, sedimentos e matéria orgânica. Sua ocorrência está ligada com ambientes periglaciais e hidratos do oceano em resposta ao aumento das temperaturas. Eles ocupam cerca de 20% da superfície terrestre e aproximadamente 1/3 de sua totalidade está para degelar e em alguns lugares encontram-se em pleno degelo.

ocorrerem ondas de calor extremas (Global Trends 2040, 2021).

A distribuição do aquecimento, com surtos de calor mais intensos, deverá ser provavelmente assimétrica ao longo do planeta. Há uma possibilidade maior de afetar, para além do Ártico, o Centro e o Leste da América do Norte, a Europa Central, Região mediterrânea (incluindo o Sul da Europa, Norte da África e o Próximo Oriente), o Oeste e Centro da Ásia e Sul da África. Mas, é nos trópicos, que há chances de ocorrerem ondas de calor extremas (Global Trends 2040, 2021).

21.2 Extremos climáticos

O padrão climático e os modelos meteorológicos estão sendo alterados pelo aumento das temperaturas mudando e criando configurações atmosféricas favoráveis a geração de desastres naturais mais severos e talvez mais frequentes. É o caso de esperar tempestades com características de furacões, precipitações menos frequentes, porém mais intensas, implicando um risco maior de enchentes e deslizamentos. Ventos e precipitações mais intensas na área costeira devem produzir enchentes costeiras, por sua associação com a elevação do nível do mar, incluindo a possibilidade crescente de intensificação das intrusões marinhas nos reservatórios de água do subsolo. De igual modo, a perda da regularidade de períodos de chuva e secas aumentam as chances de que áreas secas tornem-se mais secas e áreas úmidas venham a ser ainda mais úmidas. Em síntese, com o aumento do aquecimento global, dada a retrospectiva de sucessivos eventos climáticos extremos por todo o mundo e sua relação, hoje mais bem conhecida e atribuída a esse fenômeno, é provável que se assista nos próximos 20 anos uma frequência maior desses eventos associados a uma intensificação da sua severidade.

21.3 Deslocamento territorial de características climáticas

Mudanças no regime de temperaturas e sobretudo no regime de precipitação com concentração de chuvas e precipitações extremas seguidas de períodos de secas prolongadas são apenas sinais no curto e médio prazo de mudanças estruturais nas características climáticas associadas aos territórios. É um movimento que deve afetar todas as regiões do mundo. As consequências mais visíveis devem ser no deslocamento da produção agrícola e pecuária, tipos de produtos e produtividades. Regiões altamente produtivas mais tropicais tenderão a perder

posição para regiões mais úmidas e subtropicais. Os cursos de água e estoques subterrâneos de água, por decorrência, também devem ter seu fluxo e volume afetados. O contexto é de uma exposição maior desses territórios ao stress hídrico. A consequência é uma oferta espacial e temporal muito aquém da demanda oriunda da produção agropecuária, da produção de energia de fonte hídrica, da demanda da indústria e serviços. Pelos mesmos motivos deverão aumentar os riscos e a incidência de incêndios afetando a atividade humana e a biodiversidade. Mas, é sobretudo no abastecimento humano nas cidades que o risco de insegurança social deverá se amplificar. O Brasil tem dado exemplos significativos de stress hídrico em territórios sem precedentes históricos. O mesmo se verifica em outras partes do mundo. Incêndios na América do Norte, na África e até mesmo na Europa são sinais de uma combinação de elevação de temperaturas e de escassez temporária de chuvas.

A constituição de regiões semiáridas e áridas, por efeito das mudanças climáticas, vai exigir um uso mais racional, com gerenciamento da oferta e demanda e ampla socialização do acesso à água, promovendo seu uso sustentável. As mudanças edafoclimáticas e na biodiversidade associadas a novas formas de convivência humana com novos padrões de disponibilidade dos recursos naturais e dos serviços ambientais associados irão demandar políticas de adaptação para ampliar a capacidade de sustentação ambiental e *econômica* dessas regiões. Isso sugere, a longo prazo, a intensificação dos fluxos de troca relacionados a esse ativo entre territórios mais úmidos e com maior disponibilidade de água, e os territórios mais secos. Na mesma direção, deverão se intensificar o uso derivado de processos de dessalinização da água do mar. Todas essas, medidas alternativas para reduzir a *propensão* natural a uma drástica redução demográfica dessas regiões por migração.

21.4 Mitigação uma corrida contra o tempo

O enfrentamento à mudança climática tem se dividido em dois eixos de atuação. O primeiro destes reúne o conjunto de esforços de mitigação voltado para atacar as causas com vista à redução da curva de aquecimento da terra, tarefa partilhada entre o setor privado e os governos.

Os esforços de mitigação na direção de metas de emissões de gases de efeito estufa líquidas zero vão se intensificar nos próximos 20 anos e devem centrar-se em como e por quanto tempo será possível atingir essa meta. As sucessivas convenções perseguem esse horizon-

te desde o seu início, mas os resultados práticos são profundamente insuficientes diante da crise sem precedentes que se prenuncia face à mudança climática⁸ estimada pelo Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas (IPCC em inglês), órgão da Organização das Nações Unidas (ONU⁹). O Acordo de Paris, 2015, definiu um conjunto de compromissos para limitar o aquecimento global até 2°C, preferencialmente 1,5°C, implicando os dois maiores emissores, China e EUA, mas o balanço até o presente desencoraja qualquer cenário de fato positivo até 2040, sobretudo diante dos tímidos resultados da COP 26, Glasgow 2021. Esse, pelo contrário, mostrou uma tendência a um consenso inadvertido de relativo recuo considerando o Acordo de Paris 2015.

Embora os países desenvolvidos tenham reduzido o volume de emissões como resultado do aumento da eficiência energética, do uso de gás natural e novas fontes de energia pela redução de custos, como a eólica, a solar e outras promessas embora incipientes, assim como a pandemia de COVID-19 também tenha causado uma breve queda nas emissões globais – as emissões gerais continuaram a aumentar. Essa tendência tem levado os países a uma narrativa mais ambiciosa na definição da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), para tornar-se neutro, União Europeia (UE), Japão, Nova Zelândia e Coreia do Sul até 2050 e China até 2060, mas o desempenho prático os afasta do compromisso. Também não está clara a trajetória do setor produtivo quando registra, nos seus balanços de responsabilidade social, metas ambiciosas de atingir emissões líquidas zero em uma década ou duas. Esse *gap* entre intenções e resultados práticos tende a ocorrer face ao que parece ser um afastamento, ainda que discreto, em relação ao enorme avanço da ciência sobre as causas e os efeitos da mudança climática.

À medida que a modelagem climática melhora, as divisões tendem a se tornar mais pronunciadas entre aqueles que defendem o alcance de emissões líquidas zero ao longo das décadas por meio da transição para novas tecnologias e aqueles que argumentam que o zero líquido deve ser alcançado mais rapidamente para evitar os piores resultados. As promessas dos governos levam em consideração os avanços nas tecnologias para mitigar as emissões e, ao mesmo tempo, impulsionar o crescimento econômico, e presumem que os piores efeitos

8 Global warming will hit 1.5C by 2040, warns IPCC report, 2021.

9 Responsável por avaliar o “estado da arte” das pesquisas científicas sobre mudanças climáticas, suas implicações e possíveis riscos futuros, bem como propor opções de adaptação e mitigação.

da mudança climática podem ser evitados por meio de uma abordagem mais gradual. Os defensores de uma ação mais rápida argumentam que a janela para evitar os efeitos cataclísmicos está se fechando e que mudanças comportamentais mais dramáticas e imediatas são necessárias. Limitar o aumento da temperatura global a 1,5°C exigirá mudanças sem precedentes no consumo e na produção de energia para permitir que os países em desenvolvimento façam crescer suas economias sem definir as reduções de carbono dos países desenvolvidos (Global Trends 2040, 2021, tradução nossa).

Um embate mais recente vem gerando novas incertezas nos cenários relacionados à mudança climática. Este, opõe governo e empresas que veem na definição de metas e prazos para atingir o limite zero de emissões uma saída efetiva para reduzir os efeitos físicos da elevação das temperaturas e especialistas que mostram o prejuízo na acurácia dos modelos quando se dá como equivalentes a qualidade das métricas para emissões, consenso praticamente absoluto nesse ambiente, e as métricas de supressão de gases de efeito estufa, ponto de dissenso uma vez que estas não consideram o tempo de permanência das emissões na atmosfera. Isto é o zero limite deveria considerar a supressão de parte do estoque já emitido. Caso contrário as temperaturas tendem a continuar sua curva ascendente a despeito de atingir o limite zero de emissões por parte governo e empresas.

O fato é que o sucesso dos esforços para remover o dióxido de carbono da atmosfera também será crítico. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas estima que mitigar as emissões por si só quase certamente não será suficiente para limitar o aquecimento a 1,5°C, elevando a importância de novas tecnologias que removem o dióxido de carbono da atmosfera para usá-lo ou armazená-lo no subsolo.

A maioria dos caminhos modelados para limitar o aquecimento a 1,5°C envolve uma expansão substancial da remoção de Dióxido de Carbono (CDR) principalmente por meio da bioenergia com captura e armazenamento de carbono (BECCS). Outras tecnologias que estão sendo pesquisadas incluem sequestro de solo, fertilização oceânica e captura direta de ar. A pesquisa e um impulso para implantar BECCS – ainda uma tecnologia nascente – quase certamente aumentará porque é uma das poucas tecnologias de emissões negativas que existem porque usa dióxido de carbono para cultivar biomassa que é convertida em energia utilizável durante o

armazenamento o dióxido de carbono no subsolo. Atualmente, cerca de 25 projetos de CDR comercialmente operacionais estabelecem uma quantidade insignificante de emissões anuais, e os esforços para aumentar o CDR enfrentarão restrições políticas, tecnológicas e econômicas na ausência de incentivos de mercado. Mais países podem introduzir um imposto de carbono, ou um crédito para remover carbono, em um esforço para acelerar o CDR, bem como ampliar a adoção de tecnologias de energia renovável (Global Trends 2040, 2021, tradução nossa).

O esforço desenvolvido pela pesquisa e a inovação para superar os obstáculos impostos pela mudança climática com a redução de emissões de gases de efeito estufa tem vasos comunicantes com os obstáculos impostos pela degradação ambiental. Resta saber se o compromisso com a redução das desigualdades virá nos próximos anos acompanhado de ousadia e inventividade para incorporar efetivamente a dimensão social em projetos de recuperação e preservação ambiental.

Há sinais claros de que muitos mais atores estão se unindo aos esforços internacionais e governamentais para lidar com o clima e desafios ambientais. A ação em nível local é um exemplo. Tem aumentado o número de empresas comprometidas com metas para tornarem-se neutras em carbono. Grandes gestores de ativos concluíram que as mudanças climáticas ameaçam seus retornos de longo prazo e estão exigindo a divulgação das emissões de carbono de empresas integrantes ou para entrarem em seus portfólios, bem como recusando investir em projetos de combustível fóssil.

Em 2018, quase 10.000 cidades e municípios em 128 países tomaram alguma forma de ação climática, assim como 6.225 empresas sediadas em 120 países, representando US\$ 36,5 trilhões em receita, maior do que o produto interno bruto (PIB) combinado dos Estados Unidos e China também tomaram medidas nessa direção (Global Trends 2040, 2021, tradução nossa).

A perspectiva aqui sugere a possibilidade de superar a aparente dicotomia entre objetivos de desenvolvimento e justiça social e o direito a um ambiente saudável e de justiça ambiental, viabilizando que essas regiões sejam alvos de uma distribuição mais equânime dos esforços de alteração de modelos de produção e consumo e de organização da sociedade que interagem direta e harmonicamente com a capacidade de

sustentação dos serviços ambientais e seu ciclo natural de reprodução revertendo nessas regiões a simbiose negativa de injustiça social e injustiça ambiental.

21.4.1 Os desafios da transição energética no mundo

As negociações e Acordos no âmbito da Convenção do Clima giram na sua maior parte em torno da transição matriz de origem fóssil para uma mais limpa e renovável. Ainda que os combustíveis fósseis, pelo lado da oferta, continuem a suprir a maioria das necessidades de energia nos próximos 20 anos, é fortemente provável que a energia eólica e solar crescerá mais rápido do que qualquer outra fonte de energia devido aos avanços tecnológicos e à queda acentuada dos custos. A produção de energia nuclear tem chances para sua expansão, condicionada à criação de *designs* novos e mais seguros. Pelo lado da demanda, há expectativas no curto e médio prazo de redução do consumo baseado na promoção e adoção de iniciativas de eficiência energética por parte dos governos, empresas e o consumo doméstico.

O desenvolvimento tecnológico, atual e futuro, associado ao aperfeiçoamento regulatório e a atração de investimento por parte dos governos, levam empresas e consumidores para trocas de fontes e maior eficiência energética no uso de energia em edifícios, transporte e energia, que juntos respondem pela maioria das emissões globais. Muitas dessas tecnologias também podem contribuir para uma maior resiliência energética e autossuficiência dos estados. Exemplo disso é o crescimento da energia distribuída apesar de resistência localizada por parte das distribuidoras convencionais de energia elétrica. Tecnologias renováveis ainda mais eficientes e de menor custo, como as células solares de perovskita,¹⁰ estão destinadas a transformar com tecnologias disruptivas a indústria de energia nas próximas duas décadas.¹¹ O uso

10 A Perovskita, é um mineral relativamente raro ocorrendo na forma de cristais ortorrômbicos. A perovskita ocorre em rochas metamórficas e associada a intrusões máficas, a sienitos nefelínicos e raramente a carbonatitos.

11 As células solares de silício, um material abundante na crosta terrestre, possibilita tirar um rendimento nominal da luz solar de 27%, mas que na realidade mostra uma eficiência de apenas 17%. O silício não é o material mais indicado para produzir as células e absorver a luz solar, uma vez que são necessárias temperaturas elevadas, mais de 1000°C para obter o grau de pureza de silício necessário. Estas novas células solares a base da perovskita tendem a revolucionar a geração de energia solar segundo a comunidade científica. Se em 2009 tinham uma eficiência de apenas 3.8%, contrastando com os atuais 25.2% (conseguido pelo MIT). As células de silício levaram 50 anos até ter a atual eficiência nominal de 27%, mas efetivamente de apenas 17%.

da perovskita mostra grandes vantagens, especialmente na produção e versatilidade de aplicações. Requer tecnologia mais simples e adaptada à produção em larga escala, como impressão, spray ou revestimento por imersão de materiais que irão desempenhar a mesma função que as atuais células fotovoltaicas. Elas permitem redução de custos e podem ainda ser integradas a vários produtos, sendo assim flexíveis.

A tecnologia de turbinas eólicas está cada vez mais conectada e permite projetos eólicos offshore massivos e de baixo custo em todo o mundo. A China é o maior produtor e exportador mundial de painéis solares e turbinas eólicas.

As diversas tecnologias de armazenamento avançado de energia justificam as expectativas e apostas para permitir mais energias renováveis nos sistemas de grade e apoiar a ampla implantação de veículos elétricos. As baterias de íon-lítio tiveram grande redução de custos e melhorias de desempenho nos últimos anos, e os investimentos também estão aumentando em alternativas potencialmente mais seguras, mais baratas, mais potentes e de maior duração.

No futuro, é provável que o armazenamento avançado de energia permita o desenvolvimento de redes elétricas descentralizadas e autônomas que integrem baterias, fontes de energia renováveis e veículos elétricos e que potencialmente não tenham necessidade de backup de combustíveis fósseis (Global Trends 2040, 2021, tradução nossa).

Várias empresas estão desenvolvendo pequenos reatores nucleares modulares (SMRs), cerca de um terço do tamanho dos reatores nucleares tradicionais, o que poderia levar a uma aceitação mais ampla de países que tradicionalmente se opõem a projetos nucleares porque os SMRs são menores e mais seguros. Os SMRs têm o potencial de fornecer geração de energia para áreas remotas, como na África, o que poderia ajudar os países em desenvolvimento a eletrificar suas populações sem aumentar as emissões. Além disso, os SMRs – quando combinados com energia solar e eólica – podem ajudar a resolver o problema de intermitência, por assegurar uma produção contínua (Global Trends 2040, 2021, tradução nossa).

21.5 Adaptação e aumento da resiliência das comunidades

Além de esforços de mitigação, a constatação da inevitabilidade

de uma convivência definitiva com os efeitos físicos da mudança do clima mostrou a necessidade de outro conjunto de denominado de adaptação São iniciativas cuja finalidade é aumentar a capacidade de resiliência das comunidades no enfrentamento dos efeitos físicos resultantes da mudança climática, tarefa afeta mais aos governos e a sociedade engajada.

Dentre essas ações há medidas de baixo custo e simples, como restaurar florestas de mangue ou aumentar o armazenamento de água da chuva. Porém outras iniciativas são complexas tais como construir grandes paredões e planejar a realocação de grandes populações. Um desafio chave para esses esforços será o financiamento de comunidades vulneráveis – especialmente porque os governos enfrentam desafios políticos e escassez de recursos, tendo que escolher quais comunidades apoiar.

Parcerias público – privadas estão inovando em novas abordagens de seguro destinadas a construir resiliência aos riscos climáticos, como seguro de ativos naturais como o recife mesoamericano do México ou o seguro meteorológico baseado em índices para agricultores locais no Quênia. Essas abordagens contam com novos dados e tecnologias de aprendizado de máquina – sugerindo que, à medida que essas tecnologias avancem durante os próximos 20 anos, os mecanismos de resiliência podem se tornar mais sofisticados (Global Trends 2040, 2021).

21.6 Os desafios da geoengenharia climática e as controvérsias em torno dela

Os riscos crescentes de um possível descontrole da gestão relativa à mudança do clima, fez emergir, nos últimos anos, a ideia de um plano B, isto é, um conjunto de iniciativas no campo da pesquisa de enfrentamento radical aos problemas decorrentes do aumento das emissões denominadas de geoengenharia climática. São intervenções deliberadas e em larga escala nos sistemas naturais da Terra, em escala planetária, para tentar neutralizar as mudanças climáticas.

A geoengenharia climática, hoje, trabalha em duas linhas de pesquisa: na remoção do CO₂ da atmosfera e/ou na mudança do balanço de radiação do sistema terrestre. Atualmente, a única forma conhecida de retirar CO₂ da atmosfera é a fotossíntese. Seriam necessários muitos hectares de árvores para compensar as toneladas de CO₂ emitidas.

Não há terra disponível para isso. Para mudar o balanço de radiação, o professor de ciência climática Alan Robock, da Universidade Rutgers, nos EUA, citou a colocação de espelhos na estratosfera para refletir a luz do sol, a injeção de sal marinho nas nuvens para aumentar a condensação e obtermos mais nuvens e a injeção de aerossóis de sulfato na estratosfera, de forma a reduzir a insolação na Terra. Porém, o sulfato tem efeitos colaterais, como a destruição da camada de ozônio e o fato de provocar mudanças na dinâmica estratosférica. Os efeitos colaterais não intencionais possivelmente catastróficos não são bem compreendidos, e alguns cientistas temem que a geoengenharia, ao mesmo tempo que mantém as temperaturas baixas, crie mudanças inesperadas e devastadoras nos sistemas climáticos e nos padrões de chuva.

Outras técnicas materiais estão sendo pesquisadas que não tenham os efeitos colaterais do sulfato. A ideia da aplicação de aerossóis é que ela seja feita na estratosfera tropical, onde os aerossóis seriam espalhados pelo vento em volta do mundo o que produziria um resfriamento global. Outra proposta seria a de injetá-los em latitudes altas, no Ártico, onde impediriam o gelo do mar de derreter e os possíveis efeitos negativos nesse caso não atingiriam muita gente.

É a percepção de relativo impasse em acelerar processos globais de mitigação com efetividade que atraiu financiamento daqueles que temem o pior das mudanças climáticas e reivindicam soluções que passem pela geoengenharia climática. É notório que retirar CO₂ da atmosfera leva muito tempo e não provocará um resfriamento muito rápido. Esta é a perspectiva realista e grave de especialistas diante dos efeitos desastrosos da mudança do clima. Os proponentes argumentam que a transformação energética necessária acontecerá muito lentamente e que a geoengenharia pode ajudar o planeta a ganhar tempo porque é tecnologicamente viável e menos dispendiosa do que a mitigação. Porém, o manejo da radiação também não resolveria o problema, alertam outros cientistas. É rápido, barato, imperfeito e incerto, embora reconheçam que é o método mais viável que há no momento. O tema impõe uma reflexão sobre e tende a gerar uma incerteza de grandes proporções na perspectiva relacionada à mudança climática.

A pesquisa atual é quase inteiramente em modelos de computador, com a academia, organizações não governamentais e empresas privadas desempenhando um papel de liderança. No entanto, haverá cada vez mais apelos para que os países comecem a se envolver no diálogo e, possivelmente, assumir a liderança para de-

envolver acordos internacionais que possam ajudar a definir padrões de pesquisa, garantir transparência em testes ao vivo, determinar a estrutura legal em torno de se, como e quando implantar tecnologias como essas e monitorar os efeitos. Países e atores não estatais implementando-os sozinhos aumentará o risco de conflito (Global Trends 2040, 2021, tradução nossa).

O fato é que medidas que importam riscos ainda desconhecidos e de impacto global, sendo conduzidos por agentes privados com apoio de governos pró mercado, têm gerado reações que reivindicam um debate ético antes mesmo de uma aplicação segura da geoengenharia climática.

Capítulo 22

A progressiva degradação ambiental

Por Ariel Pares¹

¹ Mestrado em Desenvolvimento Econômico, Paris III Sorbonne Nouvelle. Professor da Escola Nacional de Administração Pública. Especialista em planejamento e pesquisador colaborador do Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos na Universidade Católica de Brasília (NEP-UCB).

A progressiva degradação ambiental

A crise ambiental não é de escassez de recursos naturais, e sim da persistência do uso predatório e da gestão inadequada desses. A progressiva degradação ambiental, assim como a mudança do clima, continuará a questionar e exigir mudanças profundas no modelo de produção e consumo dominante mundialmente. As mesmas forças deverão impor mudanças no padrão de urbanização, especialmente nos países em desenvolvimento, obrigados a lidar com objetivos de crescimento econômico, desafiado por carências de infraestrutura, políticas de erradicação da pobreza e de promoção da ascensão social. Se a velocidade e amplitude de mudanças para um modelo econômico mais sustentável ambientalmente desconsiderar os desafios do mundo em desenvolvimento, essa parte do globo deverá agravar desproporcionalmente os já graves problemas decorrentes da mudança do clima e da degradação ambiental.

O impacto é sobre a capacidade dos serviços ambientais cumprirem sua finalidade natural de recompor a maior parte do efeito antrópico revertendo-o em benefícios, materiais e imateriais, oferecidos pelos sistemas naturais que diretamente contribuem para o bem-estar humano. A rápida e desordenada urbanização, a forma de ocupação da terra e o seu uso inadequado, assim como o intensivo uso dos recursos naturais e a sua má gestão somada aos efeitos da mudança climática, resultarão num processo de crescente degradação ambiental e consequente ampliação dos limites ambientais à manutenção do modelo de produção e consumo e de organização da sociedade.

As incertezas, como degradação dos solos, escassez e uso indevido de água, poluição e escassez na oferta de recursos minerais, recaem no esforço de governos, empresas e comunidades alterarem o modelo vigente de organização da economia e da sociedade, na direção de um sistema mais interativo entre desenvolvimento e sustentação dos sistemas naturais. A essas incertezas, deve-se acrescentar outra de natureza mais crítica. A intensificação da degradação ambiental no mundo tem dimensão e natureza distintas, segundo o perfil de consumo e nível de qualidade de vida de cada região do planeta. A desigualdade social tem sua digital no território e se faz acompanhar de desigualdade na distribuição dos serviços ambientais e dos ônus da degradação, de forma

que os mais pobres são os mais expostos às áreas poluídas, inseguras e degradadas, com acesso limitado ao ar puro, mobilidade, saneamento básico e habitabilidade.

A tendência de perseguir um modelo de desenvolvimento com inclusão e ascensão social deve ganhar amplitude na esteira de um re-credescimento da deterioração das condições de segurança hídrica, alimentar com impactos crescentes na saúde humana e na perda de patrimônio natural. Nesse contexto, há dúvidas, nas próximas duas décadas, sobre os impactos de uma busca de maior justiça social por meio da convergência, no padrão de renda e bem-estar entre as regiões desenvolvidas e as em desenvolvimento e a garantia de uma justiça ambiental nesses territórios.

22.1 Degradação dos solos

A expansão e o manejo pouco sustentável de práticas agrícolas, o desmatamento e a mineração de baixa tecnologia e regulação, degradam a terra e contribuem para intensificar os efeitos das mudanças climáticas. Um estudo de 2019 descobriu que o desmatamento global e a degradação da terra contribuíram cada um com cerca de 10% de todas as emissões de gases de efeito estufa induzidas pelo homem, liberando carbono armazenado nas árvores e no solo (Global Trends 2040, 2021). Além disso, a perda dos solos tem como corolário outro incidente não menos grave, o assoreamento dos rios e lagos, exemplos disso é o desaparecimento de rios outrora perenes, com perdas progressivas na regulação da oferta hídrica com impactos diversos dentro e entre países de todo mundo.

22.2 Desperdício de água

As próximas duas décadas deverão presenciar, se a inação continuar ou for tímida, um descompasso crescente entre a mudança do clima, em particular no regime de precipitação com redução ou chuvas mais irregulares e volumes extremos, responsáveis pela oferta e uma demanda crescente e sem o gerenciamento e seu uso adequado.

Isto porque, o crescimento populacional e urbano e todas as atividades produtivas baseiam-se na oferta originalmente ilimitada. Isso é mais evidente no ainda incipiente reuso das águas por parte da indústria e setor de serviços, na irrigação ineficiente e nas práticas agrícolas que afetam a produção dos serviços ambientais responsáveis pelo ciclo das

águas, com aumento da erosão dos solos, afetando o leito dos rios e lagos, com a redução das matas ciliares e o desmatamento irresponsável. A depreciação da infraestrutura de saneamento sem a devida reposição e gerenciamento, mais frequente, mas não unicamente, nos países em desenvolvimento com elevados déficits de infraestrutura, deverá gerar desperdícios cada vez mais irracionais diante da escassez crescente de água no mundo. O Brasil é exemplo. Parte do déficit da infraestrutura de saneamento poderia ser coberto através da redução substancial das perdas físicas nos sistemas, hoje no patamar de 39%, para patamares mais razoáveis de 8 a 10%, próximo aos dos países desenvolvidos.

A esse quadro de crescente assimetria entre oferta e demanda de água doce soma-se a escassez natural desse recurso. Transformando esse bem nos próximos 20 anos provavelmente no centro de uma disputa geopolítica pelo seu acesso à semelhança do que se viveu com o petróleo. Não por acaso vê-se registros de que a água doce deve ser o petróleo do futuro. A água doce representa apenas 2,7% do total disponível na terra, mas 2,4% desse total está situado em locais de difícil acesso, em regiões subterrâneas e nas geleiras, sobrando apenas 0,3% da água do planeta para uso. O Brasil, tem 13% da água doce disponível no mundo, com a grande maioria (73%) localizada na bacia amazônica. Esses dados colocam o País naturalmente em posição estratégica no que respeita à disponibilidade de água doce. Uma pesquisa da Unesco também mostrou disparidade relativa à água disponível nos diversos países. No Kuwait, por exemplo, cada habitante tem à disposição apenas 10 metros cúbicos anuais de água doce. Na Guiana Francesa esse número sobe para 812.121 metros cúbicos por pessoa.

Em síntese, a má governança da água, dentro e entre os países continuará sendo o principal causador do estresse hídrico nas próximas duas décadas. Um vetor de possíveis conflitos pela oferta de água entre países com rios de curso internacional, em decorrência de barramentos a montante afetando países a jusante. A questão da água, cujo planejamento e gestão implica a implementação de governança transfronteiriça da água e sua utilização, será o maior desafio institucional dos próximos anos.

22.3 Poluição

A poluição do ar e a contaminação dos rios, lagos e mananciais de água potável deve crescer nas duas próximas décadas por efeito principalmente da expansão urbana, crescimento econômico com afrouxa-

mento da regulação ambiental nas regiões em desenvolvimento e um esforço apenas incipiente para substituir o uso de fontes fósseis e inúmeros produtos domésticos derivados do petróleo que oxidam com o ambiente como perfumes e tintas e geram emissões que competem com os gases poluentes dos veículos nas cidades do mundo desenvolvido.

Embora a poluição do ar e da água tenha diminuído em muitos países de alta renda desde um pico no século 20, eles continuam a crescer globalmente, ainda que de forma menos intensa, à medida que o número de países de renda média aumenta. Nestes, por exemplo, 80% das águas residuais industriais e municipais são despejadas sem tratamento nos cursos de água. Semelhante a outros fatores ambientais, a poluição do ar e as mudanças climáticas influenciam-se mutuamente por meio de complexas interações na atmosfera. A mudança climática levará a mais eventos de estagnação – cúpulas estacionárias de ar quente que podem fazer com que os poluentes do ar fiquem presos e persistam na atmosfera inferior – e piorará a qualidade do ar, aumentando a frequência de situações limites.

A ideia de que é preferível aceitar um relativo afrouxamento das políticas ambientais como forma de acelerar a economia e viabilizar um aumento do emprego, da renda e do consumo tende a prevalecer nas regiões com altos índices de pobreza e renda baixa, mas não apenas. Países de renda média alta, como por exemplo os EUA, têm mostrado que as comunidades afetadas com possíveis acordos de redução da exploração do carvão ou do xisto para combustíveis e energia, tem poder político para obstruir esses avanços.

Há de fato uma permanente ambivalência no comportamento social diante dos efeitos físicos advindos da mudança climática e da crescente degradação ambiental. As comunidades reconhecem que o afrouxamento da regulação ambiental aumenta a margem de lucro das empresas, em função da redução dos custos. Porém, quando ocorre um desastre ambiental, o que há é uma socialização dos prejuízos, que são pagos pela sociedade como um todo. Essa incerteza tende a se difundir em todo o espectro da prospectiva ambiental. Qual será o comportamento, nos próximos 20 anos, da sociedade, dos líderes de governo e do setor empresarial diretamente implicado nas escolhas de Sofia.

A visão de um crescimento primeiro para fazer o bolo crescer e dividir a renda para só depois limpar a poluição e recompor os sistemas naturais e os serviços ambientais que geram, vem encontrando um limite entre os jovens, que nasceram no século XXI. A primeira geração cujos filhos têm e dominam mais a informação e tecnologia que os seus

país. Há uma probabilidade crescente que as décadas vindouras presenciem um conflito geracional para além das tensões e conflitos sociais potenciais que podem prosperar nas próximas duas décadas.

22.3.1 Poluição do ar

A Organização Mundial da Saúde (OMS) endureceu recentemente os indicadores de qualidade do ar para os principais poluentes atmosféricos, estabelecendo limites de segurança mais rígidos para quatro substâncias nocivas, vinculadas principalmente à queima de biomassa e combustíveis fósseis (petróleo, gás e carvão). As diretrizes anteriores datam de 2005 um descompasso diante de um problema que causa, a cada ano, cerca de sete milhões de mortes prematuras, além de problemas graves de saúde, segundo a OMS. A iniciativa põe na mira os veículos com motor de combustão. Com base no conhecimento científico alcançado nas últimas décadas, a OMS estabeleceu novos limites de exposição segura para os seres humanos para seis tipos de poluentes: as partículas em suspensão de menos de 2,5 micrômetros de diâmetro (PM_{2,5}), as partículas de menos de 10 micrômetros (PM₁₀), o ozônio (O₃), o dióxido de nitrogênio (NO₂), o dióxido de enxofre (SO₂) e o monóxido de carbono (CO).

Os padrões de segurança estabelecidos pela OMS não têm obrigação legal. Cada país fixa seus limites para cada poluente, independente dos definidos pela organização. Segundo a própria agência da ONU, mais de 90% da população mundial vivia em 2019, “em áreas onde os níveis de concentração [de poluentes] ultrapassaram os indicados nas diretrizes de 2005 da OMS sobre qualidade do ar para exposições prolongadas a PM_{2,5}”. Agora, com o endurecimento das diretrizes, essa porcentagem aumentará (EL PAÍS Madri 2/09/2021).

Contudo o avanço da ciência sobre a poluição do ar traz novas revelações surpreendentes. Grupo de cientistas dos Estados Unidos observou, na cidade de Los Angeles, que as emissões de produtos comumente usados em casa – como tintas, vernizes, purificadores de ar, laquê, tintas de impressão, adesivos, pesticidas, cosméticos e produtos limpeza já contribuem tanto para a poluição urbana quanto às

emissões de automóveis.¹ Essa descoberta surpreendente remete a uma poluição mais nociva porque no interior dos ambientes de trabalho e residências. Não há legislação para o ar interior, enquanto o ar exterior é monitorado por redes de vigilância e sujeito a controles. O ar interior segundo pesquisadores pode estar afetando a saúde em níveis próximos ao ar exterior, uma vez que, de acordo com a Organização Mundial da Saúde, passamos 90% de nosso tempo em ambientes fechados, onde as concentrações de muitos poluentes podem ser duas a cinco vezes maiores, como no caso do formaldeído, alertam pesquisadores. Esse gás incolor, classificado como cancerígeno, é encontrado em pequenas quantidades em muitos produtos de uso diário no lar, como lava-louças, amaciantes e cosméticos, segundo a Agência para o Registro de Substâncias Tóxicas e Doenças dos EUA. Contudo, no caso de compostos orgânicos voláteis de países desenvolvidos, mais estudos serão necessários para que seu impacto na saúde possa ser mais bem avaliado (El País 16/02/2018).

É amplamente estudado e conhecido que nos países desenvolvidos as emissões dos automóveis são ainda um grave problema, apesar dos controles e da aplicação de melhorias tecnológicas veicular. Já nos países em desenvolvimento, onde grandes quantidades de combustíveis fósseis ou madeira são queimados em ambientes fechados para cozinhar ou aquecer, as emissões de dióxido de nitrogênio ou de partículas afetam o ar exterior e se somam as emissões veiculares e as de indústrias não afetam a controles ambientais rigorosos.

22.3.2 Poluição hídrica

A poluição da água é ainda mais grave que a do ar. A contaminação dos corpos d'água por elementos físicos, químicos e biológicos são prejudiciais tanto aos organismos e plantas, com impacto na qualidade dos serviços ambientais oferecidos, como sobretudo e diretamente na

¹ São hidrocarbonetos, compostos orgânicos voláteis que se apresentam em estado gasoso à temperatura ambiente. A atmosfera oxida esses compostos, emitidos por produtos comuns no lar e, por diversas reações químicas, acabam sendo integrados em partículas suspensas de menos de 2,5 milionésimos de metros. Essas minúsculas partículas entram na parte mais profunda dos pulmões e podem causar doenças respiratórias.

atividade humana.²

Embora a poluição da água tenha diminuído em países de renda alta, com seu nível mais alto no século passado, ela continua a crescer em alguns desses países e globalmente ela aumenta à medida que o número de países de renda média aumenta e os de menor renda apresentam um processo de urbanização com baixa regulação e insuficiência de infraestrutura. A resultante é que 80% das águas residuais industriais e urbanas são despejadas sem tratamento nos cursos de água.

As águas costeiras sofrem impacto cumulativo de uma grande variedade de poluentes, oriundos de áreas próximas, com o despejo dos rios e da forte densidade urbana, ou remotas, transportados pelas correntes marinhas e pelos ventos na atmosfera. As previsões são de intensificação destes impactos. As águas degradadas causam problemas ecológicos e de saúde, além de interferências com repercussões socioeconômicas devido à falta de balneabilidade de praias, diminuição das atividades turísticas e de recreação e custos adicionais para manutenção de um ambiente limpo e saudável para as populações. A poluição continental associada à ocupação *econômica* inadequada do mar deverá afetar ambientalmente ainda mais o seu futuro. O desempenho errático da exploração pesqueira é apenas o sinal de curto prazo do cumprimento dos serviços ambientais que este promove, antes mesmo da possibilidade de uso racional dos imensos recursos que detém.

Um estudo elaborado pela Unesco (Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura³) classificou 122 países em relação à qualidade de seus mananciais. A Bélgica ficou em último lugar, atrás de países pobres como Índia e Ruanda. O *ranking* ainda destacou a Bélgica com a presença escassa de lençóis freáticos, intensa poluição industrial e o precário sistema de tratamento de resíduos industriais.

2 A água é essencial para o ser humano. Ele pode ficar por períodos de até 50 dias sem se alimentar, porém, não é possível ficar mais de quatro dias sem o consumo de água. A água também é fundamental para a produção de alimentos, de energia e de bens industriais de diversos tipos. A água é um recurso crucial para a sociedade e para a vida na Terra. Por isso é indispensável evitar a poluição. Os lençóis freáticos, os rios, os lagos e os mares são o destino final de todo e qualquer poluente solúvel em água que tenha sido lançado nos centros urbanos, pelo ar e por resíduos sólidos, e pelo solo fortemente alterado pelos fertilizantes e agrotóxicos e pelos resíduos industriais. Desta forma, além dos poluentes que são lançados diretamente nos corpos d'água, as redes hídricas ainda recebem a poluição vinda da atmosfera e da litosfera (o solo).

3 Disponível em: <https://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/poluicao-das-aguas-asia-sofre-mais-com-contaminacao.htm?cmpid=copiaecola>.

No topo da lista da qualidade de água estão Finlândia, Canadá, Nova Zelândia, Reino Unido e Japão. De acordo com o relatório, os rios asiáticos são os mais poluídos do mundo, região que concentra a maior parte da população do mundo, assim como a metade da população dos países pobres está exposta à água contaminada por esgoto ou resíduos industriais.

Doenças relacionadas à água estão entre as causas mais comuns de morte no mundo e atingem principalmente os países em desenvolvimento. Milhões de pessoas ainda morrem anualmente devido ao consumo de água imprópria e falta de saneamento. Crianças com menos de cinco anos são as mais afetadas. Se os governos dos países carentes de água não adotarem medidas urgentes para estabilizar a população e buscar elevar a produtividade hídrica, a escassez de água em pouco tempo se transformará em falta de alimentos e fonte de crise sanitária pelo número de mortes oriundas dessa combinação de problemas.

Toneladas de dejetos contribuem com a poluição da água que banha os continentes. De acordo com as Nações Unidas, pelo menos 800 espécies em todo o mundo são afetadas por detritos marinhos e até 80% desse lixo é plástico. Estima-se que até 13 milhões de toneladas de plástico acabem no oceano a cada ano – o equivalente a uma carga de lixo ou caminhão de lixo vale cada minuto. Isso sem contar com a poluição dos rios. Os humanos não são imunes a essa ameaça: embora se estima que os plásticos levam até centenas de anos para se decompor totalmente, alguns deles se decompõem muito mais rapidamente em partículas minúsculas, que por sua vez acabam nos peixes e frutos do mar consumidos. De acordo com um estudo publicado em 2019, sobre o consumo humano de microplásticos nos Estados Unidos, a ingestão das partículas pode variar entre 39.000 e 52.000 fragmentos por ano.

Resíduos de plástico matam até um milhão de aves marinhas por ano. Os cientistas estimam que 60% de todas as espécies de aves marinhas comeram pedaços de plástico, um número que eles preveem que aumentará para 99% até 2050.⁴

Segundo o oceanógrafo Alexander Turra, responsável pela Cátedra Unesco para Sustentabilidade dos Oceanos, a poluição prejudica a biodiversidade e a química dos oceanos comprometendo os processos da natureza, ditos serviços ambientais, com impacto nos benefícios que os oceanos garantem para a humanidade. Segundo este, a sujeira extrapola a superfície dos oceanos. “A poluição compromete o funcio-

4 ONU, UNESCO e Fundação para Limpeza dos Oceanos.

namento e a saúde do mar. Faz com que a espécie humana coloque em risco a própria vida no planeta, pois dependemos forte e centralmente do oceano”. No mundo, cerca de três bilhões de pessoas dependem da biodiversidade marinha e costeira para sobreviver. Estima-se que o mercado de recursos marinhos gere US\$ 3 trilhões por ano, o equivalente a 5% do PIB mundial, e áreas pesqueiras empreguem mais de 200 milhões de pessoas. “As atividades dependem de um ambiente limpo e saudável, no qual as pessoas tenham condições de entrar e que os alimentos sejam confiáveis”.

A Convenção do Mar parece limitar-se a regular os termos de soberania e ocupação *econômica* das suas águas, empurrando para frente os termos de uma regulação ambientalmente alinhada ao ciclo natural dos serviços ambientais que deveriam ser preservados para o seu uso sustentável e o futuro mais seguro para a humanidade.

Referências

NATIONAL INTELLIGENCE COUNCIL NIC (2021). Global Trends - A More contested world. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.hsdll.org/?view&did=852278>. Acesso em: 5 out. 2022.

Capítulo 23

Horizonte turvo social e econômico em relação aos comportamentos futuros

Por Ariel Pares¹

¹ Mestrado em Desenvolvimento Econômico, Paris III Sorbonne Nouvelle. Professor da Escola Nacional de Administração Pública. Especialista em planejamento e pesquisador colaborador do Grupo de Pesquisa e Estudos Prospectivos na Universidade Católica de Brasília (NEP-UCB).

Horizonte turvo social e econômico em relação aos comportamentos futuros

Os efeitos físicos diretos das mudanças climáticas afetarão a segurança humana e nacional de diversas maneiras. Tensões sociais e econômicas deverão influenciar de forma mais intensa a arena política, dentro e entre países. Comunidades, empresas e governos provavelmente serão afetados por escolhas e negociações difíceis, devido a resistências políticas e aos custos de cortes drásticos de emissões e de medidas adaptativas. A pressão sobre os governos e o setor produtivo deverá, no curto e médio prazo, somar outra agenda correlata. A reversão da curva ascendente da degradação ambiental se fará ainda mais urgente devido ao impacto que sofre da mudança climática com seu agravamento mais que proporcional.

Com urgência e magnitudes diferentes as regiões em desenvolvimento, mas não unicamente, verão provavelmente a ascensão de movimentos sociais e manifestações, impelidos pelo inevitável ajuste de contas entre justiça social e justiça ambiental para uma vida saudável, uma vez que em todos os cantos do mundo verifica-se o mesmo cenário: uma associação perversa de pobreza e insalubridade ambiental e impactos sobre essas comunidades ainda mais negativos derivados da mudança climática. A resolução dessas duas agendas de forma simultânea deverá ganhar contornos graves, social e econômico, diante de escolhas complexas e difíceis. As medidas de uma agenda nem sempre serão miscíveis com a segunda agenda, embora os alvos sejam os mesmos: a recuperação dos serviços ambientais globais responsáveis pela oferta e qualidade da água potável, pela biodiversidade continental e marinha, e pelo saneamento ambiental dos assentamentos humanos, o ambiente urbano e o da produção.

Fragmentação social e tensões políticas derivadas de preocupações com a mudança climática aumentaram e tendem a se multiplicar, se levar em conta diversas manifestações em todo mundo, mobilizando majoritariamente jovens em defesa de compromissos transparentes, efetivos e de mudanças mais céleres e intensas com ações de mitigação e de adaptação. A volatilidade política decorrente da agenda ambiental cresce no mundo, com a edição de compromissos controversos. Inte-

resses sociopolíticos mais amplos – como os protestos franceses contra o aumento dos preços dos combustíveis em 2018 ou a insatisfação social mais recente com o aumento dos combustíveis no mundo e a perspectiva de um novo normal, haja vistas à redução generalizada dos investimentos na produção baseada em recursos fósseis. Os partidos nacionalistas e de extrema direita tendem a centrar seu discurso na defesa de interesses sociais e empresariais prejudicados com os compromissos assumidos para mitigação e adaptação no enfrentamento ao aquecimento global.

Na Europa, os partidos nacionalistas e populistas (extrema direita) se capitalizaram sobre as preocupações públicas sobre as dificuldades econômicas associadas às políticas de mitigação do clima, e eles estruturaram sua oposição em termos de igualdade e justiça social para as populações da classe trabalhadora (Global Trends 2040, 2021, tradução nossa).

O ônus dessas etapas não será distribuído uniformemente dentro ou entre os estados, e o retorno de longo prazo das políticas de mitigação vai contra os incentivos políticos, tornando difícil sustentar compromissos controversos (Global Trends 2040, 2021, tradução nossa).

Deve aumentar a pressão para uma ação global. A persistente curva de ascensão das temperaturas e seus efeitos físicos cada vez mais desastrosos deve ter como corolário mais tensão, negociação, transparência e cobrança pelos compromissos assumidos com cortes nas emissões e responsabilidade compartilhada entre os países. Países em desenvolvimento pressionados internamente por crescimento e mais emissões vão exigir, no âmbito da concertação global, financiamento como condição para honrar seus compromissos face o volume de recursos necessários para adaptação e aumento da resiliência das populações mais vulneráveis e reconversão de práticas produtivas intensivas em emissões e responsáveis pela degradação ambiental.

A já aberta e nova ampla fronteira econômica, especialmente no campo da energia de fontes alternativas e sua versão no campo da produção e consumo, com a economia verde, constituída a partir de compromissos com a mudança climática e a redução da degradação ambiental vão provavelmente criar novas assimetrias e tensões geopolíticas dentro e entre os países no reposicionamento estratégico do setor produtivo nos mercados nacional mundial. Nesse quadro as regiões em

desenvolvimento deverão igualmente condicionar seus compromissos a partir do compartilhamento e/ou fornecimento de tecnologias responsáveis por essa nova base produtiva e de consumo.

É quase inevitável considerar, em qualquer cenário até 2040, um redesenho dos termos da competição entre os países no mercado global, nas cadeias de suprimentos e sua consequência no posicionamento *geopolítico* mundial decorrentes do enfrentamento também global dos problemas derivados da mudança climática e da degradação ambiental.

Os países e outros atores tendem a competir por alimentos, minerais, água e fontes de energia que se tornam mais acessíveis, mais valiosas ou mais escassas. Recuo do gelo marinho do Ártico está abrindo novas rotas marítimas e oportunidades para acessar recursos valiosos lá, incluindo gás natural e depósitos de petróleo, metais de terras raras e estoques de peixes. A Rússia está construindo mais quebra-gelos para patrulhar sua costa norte e projetar poder como um líder ártico, e até mesmo estados não costeiros como a China e a Índia estão buscando tirar vantagem de rotas comerciais e recursos mais curtos. Além disso, a China está tentando impulsionar sua imagem internacional, afirmando ser um líder em diplomacia climática, apesar de suas emissões crescentes, já as mais altas do mundo (Global Trends 2040, 2021, tradução nossa).

A natureza global e singular da agenda ambiental é o que lhe dá importância e ao mesmo tempo complexidade e um conjunto amplo de incertezas e possíveis rupturas. As duas agendas devem contribuir e ao mesmo tempo refletir uma geopolítica ancorada em novos temas controversos.

23.1 Crescente erosão da segurança humana

Os impactos físicos resultantes da combinação de uma terra mais quente e uma degradação ambiental ascendente tenderão a impor desafios inéditos à segurança humana. Segundo um estudo de 2018, 36% das cidades em todo o mundo já enfrentam estresse ambiental agudo de secas, inundações e ciclones. As mudanças climáticas irão se somar a isso, agravando nos próximos anos as condições de habitabilidade e de expansão das atividades produtivas à medida que eventos extremos se tornem mais intensos e frequentes.

O tempo de recuperação de danos deve ser, em não poucos ca-

sos, superior aos tempos de aparição de um novo evento climático severo (Global Trends 2040, 2021). Nesse contexto, cresce a probabilidade de elevação da insatisfação social e de pressão sobre os governos para o enfrentamento desses desafios, assim como deve aumentar o fluxo migratório das regiões onde o risco social e ambiental de permanência será muito superior aos riscos de não acolhimento e exclusão das regiões receptoras, menos impactadas e/ou mais resilientes.

23.1.1 Aumento dos sinais de insegurança hídrica e alimentar

A elevação da temperatura, alterações no padrão de precipitação com mudanças no perfil edafoclimático de algumas regiões levando a migração de áreas de cultivo ao longo do globo, maior intensidade e frequência de eventos climáticos extremos, redução da disponibilidade de água doce por má gestão do uso do solo e intrusão de água salgada no solo e nos sistemas hídricos devido à elevação dos mares, provavelmente exacerbarão a insegurança alimentar e hídrica em alguns países mais que outros, durante as próximas duas décadas.

A redução da disponibilidade de oxigênio, a acidificação e aumento do aquecimento dos oceanos, a poluição por deposição de resíduos, aspectos que associados à crescente degradação ambiental das zonas costeiras já representam grave ameaça aos estoques de pescado e da atividade pesqueira.

23.1.3 Perda de Biodiversidade

A perda de variabilidade dos organismos vivos ganhou um ritmo sem precedentes na história humana. Sua associação com a redução dos estoques de água doce e alterações climáticas estão afetando a capacidade dos serviços ambientais de atuarem na reciclagem da pressão antrópica e promoverem as condições adequadas à produção de alimentos, colocando em risco a segurança alimentar, hídrica e sanitária.

23.1.4 Aumento das migrações

A questão ambiental é indissociável do território e dos seus assentamentos humanos. O comprometimento severo dos serviços ambientais (Raskin, 2005) em algumas regiões da terra tende a aumentar o risco de uma migração mais induzida pelo ambiente. Os efeitos físicos e sinérgicos do aquecimento da terra, elevação do nível do mar e a de-

gradação ambiental devem transformar certas regiões e zonas costeiras permanentemente inabitáveis. São prognósticos que sugerem uma intensificação maior desse fenômeno a partir de 2040.

Apresenta-se, a seguir, as principais sementes de futuro identificadas no campo do meio ambiente até 2040.

Tendências

- Crescente erosão da segurança humana.
- Aumento dos sinais de insegurança hídrica e alimentar.
- Perda de Biodiversidade.
- Aumento das migrações.

Referência

Ansede, Manoel. Seus produtos domésticos são tão poluentes quanto seu carro. *Ciência*, jornal El PAIS, edição de 16 de fevereiro de 2018, Espanha.

3M. *Ciência Aplicada à Vida – Megatendências: Tendências Moldando o Futuro*. Edição 3M, 2021.

Allianz Partners. *The world in 2040: Megatrends of the 21ST Century*. Editions Allianz Partners, 2019.

Deloitte e UNESCO. *Documentário Megatendências*. World Observatory of Human affairs, UNESCO. Brasil, 2018: <https://www2.deloitte.com/br/pt/pages/about-deloitte/articles/documentario-megatendencias.html>.

OCDE. *Scénarios pour le monde de 2035: Implications pour l’avenir de la collaboration mondiale et de l’OCDE*. Éditions OCDE, Paris, 2021.

OPAS/OMS. *Novas Diretrizes Globais de Qualidade do Ar da OMS visam salvar milhões de vidas da poluição atmosférica*. Informe OPAS edição de 22/09/2021, Brasília.

Organização das Nações Unidas (ONU). *The millennium Ecosystem Assessment*. New York, ONU, 2005 <http://www.millenniumassessment.org/en/index.html>.

National Intelligence Council. *Global Trends 2040: A more contested world*. Washington: A Publication of the National Intelligence Council, 2021.

Raskin, Paul D. *Global Scenarios: Background Review for the Millennium Ecosystem Assessment*. *Ecosystems* Vol. 8, No. 2 (March, 2005),

pp 133-142, Published By Springer.

Turra, Alexander et ali. Lixo nos Mares: do entendimento à solução. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2020

Turra, Alexander e Biazon, Tássia. Relatório mundial revela qualidade do Oceano. Jornal da USP, 29/04/2021, São Paulo, 2021

UNESCO. O Valor da Água. New York, Edição UNESCO New York, 2021.

World Health Organization. WHO global air quality guidelines – Particulate matter (PM_{2,5} and PM₁₀) ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva, 2021. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>.

Megatendências Mundiais 2040 é uma obra brasileira marcante, de leitura obrigatória, pelo seu conteúdo técnico e pelo momento histórico de sua criação. Um verdadeiro presente para o Brasil e para o Mundo.

Qualquer trabalho de reflexão estratégica sobre o direcionamento futuro de uma instituição ou país, pressupõe um olhar cuidadoso e aberto para se perceber as megatendências, e tentar usufruir deste conhecimento para “surfear a onda”, ou se preparar para as possibilidades vislumbradas no presente e no futuro.

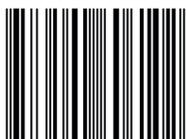
Megatendências Mundiais 2040 nos convida e nos desafia a fazer o link entre reflexão (sobre o futuro) e ação (no presente), de forma a tecer uma agenda de transformação estratégica neste mundo complexo, digital, hiperconectado em rede, clamando por mais humanidade e sustentabilidade.

A Plano Consultoria se sente honrada em estar presente, e ajudar as instituições a transformar suas aspirações em realidades.

Paulo Torquato - doutorando em estratégia, tecnologia e comunicação, sócio-diretor da Plano Consultoria S.A.

ISBN: 978-65-00-60610-2

CD



9 786500 606102