



ANTECIPAR O FUTURO 2

MAIS DEZ TECNOLOGIAS QUE PODEM
MUDAR AS NOSSAS VIDAS

(ESTUDO DO STOA DO PARLAMENTO EUROPEU)

INTRODUÇÃO DE
CARLOS COELHO

Edição apoiada:



INSTITUTO
FRANCISCO SÁ CARNEIRO



ANTECIPAR O FUTURO 2

MAIS DEZ TECNOLOGIAS QUE PODEM
MUDAR AS NOSSAS VIDAS

(ESTUDO DO STOA DO PARLAMENTO EUROPEU)

INTRODUÇÃO DE
CARLOS COELHO

Edição apoiada:



INSTITUTO
FRANCISCO SÁ CARNEIRO



ÍNDICE

●	Nota à edição por Carlos Coelho	7
●	Introdução	9
1.	Automóveis Elétricos	13
2.	Sistemas de Transportes Urbanos Inteligentes	17
3.	Transporte «maglev»	21
4.	Madeira	25
5.	Agricultura de Precisão	29
6.	Tecnologias Quânticas	33
7.	Etiquetas de Identificação por Radiofrequência	37
8.	Grandes Volumes de Dados (Big Data) e Cuidados de Saúde	41
9.	Organoides	45
10.	Edição do Genoma	49



ANTECIPAR O FUTURO 2: MAIS DEZ TECNOLOGIAS QUE PODEM MUDAR AS NOSSAS VIDAS

Nota à Edição

A edição do estudo **“Antecipar o Futuro: Dez Tecnologias que podem mudar as nossas vidas”**, em 2016, motivou um interessante debate sobre a relação entre Ciência e Política. Cientistas e políticos estão de costas voltadas? Como podemos antecipar os desafios das novas tecnologias para legislar melhor? A Lei chega sempre atrasada face à inovação? Como regular a tecnologia sem prejudicar o seu avanço? Que mudanças sociais podemos antecipar e como agir? Estas e outras questões foram sendo levantadas, num interessante debate com a comunidade científica portuguesa.

Em Janeiro de 2017, mais de 50 cientistas e investigadores portugueses reuniram-se com o Comissário **Carlos Moedas** e comigo, na **Reitoria da Universidade de Lisboa**, para discutir os **desafios sociais das novas tecnologias**, a relação ideal entre Ciência e Política e como afirmar a excelência da produção científica portuguesa na Europa e no Mundo. Nasceu assim a **EurocienciaPT** (eurocienciapt@carloscoelho.eu), uma rede de cientistas e investigadores portugueses, das mais diversas áreas, que tem por objectivo aproximar cientistas e políticos.

Este **segundo número** da colecção **“Antecipar o Futuro” acrescenta mais dez tecnologias** que podem mudar as nossas vidas, num tempo não muito longínquo do que vivemos. Na primeira edição vimos as potencialidades de novos materiais, como o grafeno; nesta, abordamos as novas utilizações para materiais clássicos, como a madeira. Na primeira edição debatemos as aeronaves não tripuladas

(“drones”) e os impactos nos transportes; nesta, estudamos o transporte «maglev» e sistemas de transportes urbanos eficientes. Na primeira edição, olhámos para as tecnologias de colocação junto ao corpo; nesta, antecipamos as oportunidades que grandes volumes de dados (big data) representam para a melhoria dos cuidados de saúde. As tecnologias mudam do primeiro para o segundo número, mas muitos desafios são comuns. **A consulta de ambos os estudos confere uma visão mais ampla das mudanças que podemos prever** e quais os principais problemas e desafios que surgem para quem decide e para quem legisla.

A colecção **“Antecipar o Futuro”** tem o valor objectivo de um conjunto de estudos científicos produzidos pelo STOA (Science and Technology Options Assessment) do Parlamento Europeu, mas pode e deve ser mais que isso. **Que decisões tomar** para aproveitar as potencialidades destas tecnologias? **Que outras inovações podemos esperar** e como regular o seu impacto? **Que papel deve ter a União Europeia** - e o Parlamento Europeu, em particular - na antecipação dos desafios sociais que surgem com estas tecnologias? Esta colecção procura responder, em parte a estas questões, mas a sua principal utilidade é o lançamento do debate. **Um debate que tem de envolver políticos e cientistas, universidades e empresas, laboratórios e sociedade civil.**

Carlos Coelho
Dezembro de 2017

“*Reclama-se assim a quem exerce o poder legislativo que seja capaz de antecipar esses desafios. Que olhe para o que está a mudar na ciência e na tecnologia e analise em que medida os impactos na nova sociedade irão aconselhar nova produção legislativa e regulamentar*”

(Carlos Coelho in Antecipar o Futuro: Dez Tecnologias que podem mudar as nossas vidas, 2016)

INTRODUÇÃO

O **desenvolvimento e a inovação tecnológicos** pontuam a história da civilização humana e **têm um profundo impacto na evolução da vida moderna**. Invenções como o arco e a flecha revolucionaram a caça, como a roda revolucionou o transporte. O arco mudou radicalmente as técnicas de construção, o tear revolucionou o vestuário e a imprensa transformou a conservação e a partilha de ideias. A máquina a vapor permitiu a produção industrial, a que se seguiu a democratização da energia com o motor elétrico.

As vacinas e os antibióticos alteraram profundamente a saúde e a medicina. A invenção dos comboios, dos automóveis e dos aviões constituiu uma segunda revolução do transporte, enquanto o telefone, as comunicações móveis e a Internet nos permitiram comunicar como se vivêssemos numa aldeia global.

Embora todas estas tecnologias tenham sido claramente benéficas para a humanidade, **algumas delas também tiveram consequências negativas inesperadas**, que a civilização teve de enfrentar. Muitas vezes, perturbaram a vida das pessoas e a ordem social, provocando tumultos e danos. A sociedade humana precisava de aprender a utilizar melhor a inovação.

O **desenvolvimento tecnológico prossegue, e a um ritmo cada vez mais acelerado**. É cada vez mais importante que a sociedade e os responsáveis políticos antecipem as inovações marcantes, para poderem, com antecedência, analisar os seus potenciais benefícios, bem como os seus possíveis efeitos negativos, e desenvolver uma resposta concertada para maximizar as vantagens e atenuar as desvantagens.

Estas respostas antecipadas podem assumir diversas formas: legislação de regulamentação das tecnologias (eventualmente proibindo determinadas utilizações); medidas públicas de apoio ao desenvolvimento de tecnologias ou destinadas a facilitar a sua introdução através de normas e regulamentos; investimento na educação e na abertura para permitir que a sociedade colha maiores benefícios; medidas de compensação para os setores da sociedade prejudicados pelas novas tecnologias.

As instituições da União Europeia (UE), a par de instituições nacionais dos Estados-Membros e de um número crescente de instituições internacionais e mundiais, são essenciais para a definição de políticas no século XXI. As políticas da UE influenciam não só as vidas de mais de 500 milhões de pessoas como, cada vez mais, as tendências e os progressos mundiais em questões como as alterações climáticas, a eficiência e a sustentabilidade dos recursos, o comércio, a saúde, a resolução de conflitos regionais e a redução da pobreza.

Para ser mais eficaz, o Parlamento Europeu necessita com frequência de olhar para além da agenda política a curto prazo e concentrar-se na evolução a mais longo prazo, lançando proativamente discussões e desenvolvendo abordagens públicas precoces.

Este seu papel proativo faz parte da vida quotidiana do Parlamento a muitos níveis, em audições organizadas individualmente por deputados e em debates em grupos ou comissões políticas. O Painel de Avaliação das Opções Científicas e Tecnológicas (STOA) desempenha um papel preponderante neste processo de reflexão. A pedido,

“*Em primeiro lugar, numa corrida contra o tempo, o legislador deve agilizar os seus mecanismos de decisão para acompanhar ou, pelo menos, para não se deixar distanciar pela evolução das tecnologias que progridem a um ritmo frenético. Da mesma forma, é necessária uma legislação inteligente e flexível que antecipe progressos futuros e não trave a evolução tecnológica*

(Carlos Moedas in Antecipar o Futuro: Dez Tecnologias que podem mudar as nossas vidas, 2016)

o STOA apoia os trabalhos das comissões parlamentares sobre políticas de longo prazo com estudos virados para o futuro e, proativamente, inicia trabalhos que visam identificar progressos tecnológicos suscetíveis de ter um impacto social profundo, que justifique a sua inclusão na agenda política.

Em 2015, a Direção-Geral dos Serviços de Estudos do Parlamento Europeu (DG EPRS) publicou um estudo, «*Ten technologies which could change our lives – potential impacts and policy implications*» (Dez tecnologias suscetíveis de transformar as nossas vidas – potenciais impactos e implicações políticas), em que cada capítulo destaca uma tecnologia específica, as suas promessas e potenciais consequências negativas, bem como o papel que o Parlamento Europeu pode e deve desempenhar na sua configuração.

O presente documento continua a mesma linha de reflexão, apresentando mais dez tecnologias que requerem cada vez mais a atenção dos responsáveis políticos.

Não houve qualquer intenção de apresentar os desenvolvimentos tecnológicos por uma ordem particular de importância, impacto ou

urgência. Os temas foram escolhidos de modo a refletir a vasta gama de temas em que o STOA decidiu concentrar a sua atenção durante a oitava legislatura.

Esta publicação tem por objetivo não só **chamar a atenção para estas dez tecnologias** específicas, mas também **promover a reflexão sobre outros desenvolvimentos tecnológicos** que, embora ainda se possam encontrar numa fase incipiente, poderão igualmente ter um forte impacto nas nossas vidas a curto ou a mais longo prazo.

Abordagem

Para cada tema, apresentamos os desafios tecnológicos e as soluções que estão a ser desenvolvidas, o ponto em que se encontram e o rumo que provavelmente tomarão. Em seguida, debruçamo-nos sobre o seu impacto previsto ou imprevisto na sociedade. Por fim, tentamos identificar o papel específico que o Parlamento Europeu poderá desempenhar, enquanto instituição supranacional de decisão política, para influenciar positivamente estas mudanças tecnológicas.



AUTOMÓVEIS ELÉTRICOS

Estaremos prestes a mudar para automóveis elétricos? E quais seriam as implicações desta transição para o clima, para a nossa saúde e para a forma como viveremos no futuro?

1.

No último século, os automóveis tornaram-se parte integrante da nossa sociedade. Com efeito, os automóveis proporcionam-nos maior flexibilidade e velocidade do que os meios de transporte alternativos e estão ao alcance de uma parte significativa da população. Desde o início da sua produção em massa, os automóveis são quase exclusivamente movidos por **motores de combustão interna** (MCI) que queimam combustíveis fósseis, como gasolina e gasóleo, para gerar a energia necessária para girar as rodas dos automóveis e executar tarefas acessórias. Todavia, os automóveis constituem igualmente uma importante fonte de emissões de CO₂ para a atmosfera – que afetam o clima do planeta –, bem como de emissões de óxido de azoto (NO_x) e de partículas que **poluem o ar** que respiramos, sobretudo nas zonas urbanas. Estes problemas são o principal motivo do renovado interesse na utilização de energia elétrica para mover os nossos automóveis.

Impactos e desenvolvimentos possíveis

Os **automóveis elétricos** apresentam diversas vantagens em relação aos automóveis com MCI. Além de reduzirem a poluição atmosférica e as emissões de CO₂ (se a eletricidade não for produzida em centrais elétricas alimentadas por combustíveis sólidos), os automóveis elétricos oferecem uma série de outras vantagens. Têm custos de manutenção mais baixos, são mais silenciosos e fáceis de conduzir; reduzem a nossa dependência de energia importada, podem ter um impacto positivo na nossa balança de pagamentos internacional e podem até contribuir para apaziguar conflitos internacionais devidos a recursos naturais.

Infelizmente, o **fabrico de automóveis elétricos** continua a ser mais caro (e mais carbónico) do que o dos automóveis com MCI. Acresce que os automóveis elétricos têm uma autonomia limitada – atualmente da ordem dos 300 km entre recargas – e que recarregar as baterias demora mais do que encher o depósito de gasolina.

Perante estes desafios, alguns Estados-Membros introduziram subvenções para apoiar a implantação do mercado de automóveis elétricos, contribuindo para aumentar a produção e o volume de vendas e, dessa forma, fazer descer os custos de produção. Simultaneamente, estão a ser envidados esforços redobrados para melhorar a **tecnologia das baterias**, com vista a produzir baterias mais baratas, mais potentes e mais leves, suscetíveis de reduzir o custo dos veículos e aumentar a sua autonomia.

Embora não seja impossível que um dia possamos produzir automóveis elétricos com o custo relativamente baixo e a grande autonomia dos automóveis com MCI, a volatilidade dos nossos estilos de vida e das nossas necessidades de mobilidade pode vir a fazer com que tal cenário não seja nem necessário nem desejável. **O tipo de automóvel que vamos querer conduzir no futuro poderá ser muito diferente dos automóveis que produzimos atualmente.**

Atualmente, são muitas as pessoas que ainda possuem um automóvel pessoal – embora, em regra, apenas um –, pelo que desejam possuir um automóvel que sirva para todas as situações de condução: deve acelerar rapidamente quando arranca a baixa velocidade e ser aerodinâmico a alta velocidade, deve ter lugares suficientes para toda a família poder fazer uma viagem de fim de semana e espaço suficiente para transportar mobília adquirida em lojas de preços baixos, deve estar equipado com ar condicionado para o verão, assentos aquecidos para o inverno, aparelhagem de alta fidelidade e um depósito de combustível grande para viagens longas e deve dispor de sistemas de arranque e paragem para o para-arranca do trânsito urbano. O resultado é que os atuais automóveis polivalentes são excessivamente pesados e, em consequência, consomem muito combustível. Este problema é ainda mais grave no caso dos automóveis elétricos, cujo peso é aumentado em 33 % pelas baterias. Ironicamente, isto significa que uma parte substancial da energia armazenada das baterias é necessária apenas para acelerar o cada vez mais pesado conjunto de baterias.

Entretanto, a geração mais jovem tende a substituir o sistema tradicional de propriedade de um automóvel «pessoal» por modelos de partilha de automóvel. Além disso, como as empresas de partilha de automóveis propõem aos seus clientes diversos veículos, os veículos individuais não têm de ser tão polivalentes quanto os automóveis privados. Pelo contrário, podem ser mais diversificados, muito mais leves e, frequentemente, ter menor autonomia e baterias mais leves, o que aumenta significativamente a sua eficiência.

Com a população urbana a optar, cada vez mais, **por soluções de partilha de automóveis**, a posse de automóveis privados pode gradualmente passar a interessar apenas a famílias que residem nos subúrbios, em casas privadas que tendencialmente produzem a sua própria eletricidade em sistemas fotovoltaicos instalados no telhado. Estes sistemas fotovoltaicos são complementados por sistemas de baterias que armazenam a energia produzida durante o dia para ser



utilizada à noite. Para estas famílias, poderá ser redundante possuir sistemas de baterias maiores tanto em casa como no automóvel. A máxima eficiência pode significar ter apenas um número mínimo de baterias permanentemente instaladas no automóvel (para cobrir as necessidades dos trajetos quotidianos) e deixar as restantes baterias em casa, ligadas ao sistema fotovoltaico, utilizando-as no automóvel apenas para ocasionais viagens mais longas de fim de semana ou de férias.

O preço da eletricidade tem um impacto significativo na atratividade dos automóveis elétricos. Na pior das hipóteses, milhares de carros elétricos a recarregar ao mesmo tempo podem representar uma sobrecarga para a rede de eletricidade, tornando-a mais instável e exigindo investimentos adicionais nas nossas redes de eletricidade. Por outro lado, no contexto das redes inteligentes, se utilizarem o excedente de eletricidade, carregando a determinadas horas, os automóveis elétricos podem beneficiar de tarifas particularmente baixas e contribuir para a estabilização da rede.

Elaboração de políticas que antecipem o futuro

Existe um amplo consenso quanto ao facto de a transição bem-sucedida para a eletromobilidade estar **dependente de programas públicos de ação, incentivos e apoio**. Presentemente, as atenções estão concentradas em incentivar os atuais proprietários de automóveis a mudar para veículos elétricos e na construção de infraestruturas de recarga que permitam aos consumidores utilizar os automóveis elétricos quase da mesma forma que os seus atuais automóveis com MCI.

Talvez as políticas de antecipação devam centrar-se, em vez disso, na promoção do desenvolvimento de automóveis que vamos querer conduzir no futuro para uma geração que pode recorrer cada vez mais a alternativas de partilha de automóveis. Poderá fazer mais sentido promover o desenvolvimento de veículos elétricos leves para a partilha de automóveis do que subvencionar o desenvolvimento de veículos elétricos pesados destinados a utilizadores privados que pretendem desempenhos idênticos aos dos seus atuais veículos.

Deveríamos igualmente concentrar-nos na forma como a eletromobilidade se integrará no modo como viveremos daqui a vinte anos, quando um número ainda maior de casas privadas estará equipado com sistemas fotovoltaicos e sistemas de baterias de armazenagem. As mudanças na nossa mobilidade serão ditadas não só pelo objetivo de reduzir as emissões de CO₂ e de outros poluentes, mas também pelo crescente congestionamento causado pelos automóveis privados nas zonas urbanas. Se queremos que as nossas cidades sejam habitáveis no futuro, poderá ser inevitável relançar soluções de transportes públicos. Por conseguinte, ao desenvolver veículos elétricos para o futuro pode ser conveniente antecipar esta evolução e procurar desenvolver veículos que complementem a oferta de transportes públicos em vez de veículos que concorram com esses transportes.

Em conclusão, as medidas públicas para promover a eletromobilidade seriam mais eficazes se fossem estreitamente coordenadas com esforços paralelos para **desenvolver novos modos de mobilidade** e novas formas de produzir e distribuir a eletricidade.



SISTEMAS DE TRANSPORTES URBANOS INTELIGENTES

Como pode a tecnologia da informação contribuir para atenuar a paralisação do tráfego nas nossas zonas urbanas cada vez mais congestionadas?

2.

Mais de 70 % dos europeus vivem em cidades e, como esta percentagem continua a aumentar, as **cidades** estão cada vez mais congestionadas. A população urbana tem de suportar uma qualidade do ar cada vez mais degradada e um ruído crescente, o que torna cada vez mais difícil viver nas cidades.

A recente **controvérsia acerca das emissões dos automóveis** atraiu bastante atenção para o problema da poluição atmosférica gerada pelos automóveis privados. Esta polémica revelou que os esforços para reduzir a poluição atmosférica na Europa através de uma regulamentação mais rigorosa das emissões são, em grande medida, ineficazes. Há alguma expectativa, justificada, de que a mudança de automóveis a gasolina para veículos elétricos tenha um impacto significativo nos níveis de poluição; contudo, a introdução de automóveis elétricos ainda vai demorar vários anos e, por si só, a mudança para veículos elétricos pouco fará para resolver os cada vez mais graves congestionamentos de tráfego.

Por conseguinte, nos últimos anos, observámos um interesse renovado nas possibilidades das soluções de **sistemas de transporte inteligentes (STI)**.



Impactos e desenvolvimentos possíveis

Estão em curso diversas iniciativas destinadas a investigar de que forma os STI podem contribuir para melhorar os fluxos de tráfego e, desse modo, torná-los mais eficientes. O facto de, cada vez mais, os automóveis serem inteligentes e **comunicarem** com o ambiente próximo cria muitas possibilidades. Presentemente, os automóveis já podem adaptar a sua velocidade em função do veículo que circula à sua frente, e a futura interação com sinais de trânsito inteligentes irá reduzir as demoras e o consumo de combustível. **Os carros vão poder reservar com antecedência um lugar de estacionamento** no seu destino. Atualmente, os sistemas de navegação por satélite permitem otimizar os percursos em função das condições de tráfego reais, mas os futuros sistemas poderão comunicar entre si através de um computador central para otimizar os percursos que os veículos devem percorrer, a fim de evitar situações em que demasiados condutores optem ao mesmo tempo por um percurso aparentemente mais rápido para evitar um engarrafamento.

Todas estas opções tecnológicas permitiriam, seguramente, uma gestão mais eficaz dos atuais níveis de tráfego. A questão é, contudo, saber se tal se traduzirá num menor congestionamento das zonas urbanas ou se, ao invés, o aumento da fluidez do tráfego irá incentivar mais utilizadores a utilizar o seu automóvel pessoal para se deslocarem para o trabalho.

Por outro lado, o aumento do número de veículos privados de passageiros que chegam com facilidade ao centro das cidades levanta o problema do estacionamento desses veículos. Não haverá grande vantagem em tornar o tráfego mais fluido se for cada vez mais difícil encontrar um lugar para estacionar.

Elaboração de políticas que antecipem o futuro

A solução da paralisação do tráfego nas zonas urbanas pode não passar apenas pelo aumento da fluidez do tráfego em determinados pontos. Pode exigir uma **profunda reavaliação** da forma como pretendemos responder às nossas necessidades de mobilidade, utilizar os nossos espaços públicos e organizar a nossa vida urbana no futuro.

Um **sistema de tráfego inteligente, que confira prioridade absoluta a transportes públicos** de superfície, como autocarros ou elétricos, poderá ser uma opção. Os semáforos das vias utilizadas



pelos transportes públicos poderiam ser programados de forma a não obrigar os autocarros a parar no sinal vermelho e a impedir que automóveis lhes bloqueassem o caminho. Atualmente, uma das grandes desvantagens dos serviços públicos de autocarros é a sua **velocidade efetiva, que nas zonas urbanas raramente é superior a 15 km/h**, e o facto de terem de parar frequentemente nas paragens os tornarem ainda mais lentos do que os automóveis privados.

Com STI, esta situação poderia ser drasticamente alterada, e a velocidade real dos autocarros eventualmente aumentada para o dobro, o que significa que o **mesmo número de autocarros e de motoristas poderia transportar o dobro dos passageiros**.

Por outras palavras, a forma mais eficaz de garantir um tráfego de automóveis de passageiros mais rápido e com menor consumo de combustível poderá ser o investimento na atratividade dos transportes públicos. Para além da velocidade, o preço dos transportes públicos é um fator determinante na escolha do transporte. Muitas pessoas consideram que os bilhetes avulso são demasiados caros ou que as estruturas de tarifas são demasiado confusas. Possivelmente, as autoridades responsáveis pelos transportes públicos estão muito mais preocupadas com a venda e o controlo de bilhetes, com **sistemas de controlo de acesso cada vez mais sofisticados**, do que com o transporte dos seus passageiros. Um motorista de autocarro

que está parado durante um minuto para vender um bilhete simples por 2 euros, enquanto 60 passageiros esperam no interior do autocarro, é um contrassenso macroeconómico.

Se os transportes públicos eficientes forem considerados uma necessidade pública, poderemos ter de pensar de uma forma mais séria acerca de quem os deve pagar e como. Talvez se deva considerar simplesmente a **possibilidade de os transportes públicos passarem a ser, por norma, gratuitos**, a exemplo do que aconteceu com o ensino há várias décadas. Simultaneamente, poderíamos reconsiderar se as cidades devem continuar a oferecer estacionamento gratuito na rua para os residentes: o pagamento por esse estacionamento poderia assegurar os fundos necessários para tornar os transportes públicos gratuitos para todos. Por outro lado, o desencorajamento do estacionamento de automóveis privados na via pública libertaria espaço para melhorar ainda mais a circulação dos transportes públicos. Além disso, em vez de utilizarmos máquinas cada vez mais sofisticadas para vender e controlar bilhetes a pessoas que se deslocam para a cidade de autocarro, poderíamos utilizar o mesmo engenho técnico para instalar sistemas que controlem e façam pagar os condutores que se deslocam para a cidade em automóveis pessoais, o que geraria fundos adicionais para melhorar os transportes públicos.

Ademais, para além das infraestruturas técnicas, existem outras opções ao nível do utilizador que podem **tornar o nosso sistema de transportes mais inteligente**. Atualmente, as estradas estão cheias de pessoas que se deslocam diariamente para o trabalho, frequentemente fazendo percursos idênticos em automóveis distintos. Os sistemas de transportes inteligentes que irão facilitar a identificação espontânea de opções de partilha de veículos podem reduzir a necessidade de, na maior parte das vezes, utilizar automóveis individuais.

Existem, pois, muitas opções para tornar o nosso sistema de tráfego mais inteligente. As modernas tecnologias da informação oferecem enormes oportunidades neste domínio, mas ainda necessitamos do engenho e da imaginação humanos para explorar plenamente as suas potencialidades.



TRANSPORTE «MAGLEV»

O transporte baseado na levitação magnética poderá entrar em breve nas nossas vidas, proporcionando nos trajetos mais rápidos e mais eficientes em termos energéticos. A possibilidade de percorrer distâncias mais longas mais depressa e de forma mais «limpa» poderá mudar a forma como escolhemos viver?

A tecnologia está a abrir caminho a **novos meios de transporte**. Alguns são apenas versões inteligentes de veículos tradicionais (por exemplo, veículos autónomos); outros saltaram das páginas de ficção científica (por exemplo, o hoverboard); outros ainda são produto da inovação (por exemplo, comboios supercondutores).

Os **hoverboards** são pranchas que levitam, sobre as quais uma pessoa de pé se mantém suspensa a pouca distância do chão. Atualmente, os seus primeiros utilizadores aprendem a planar em espaços abertos e fechados. Os comboios supercondutores podem atingir velocidades superiores a 500 km/h, graças à eliminação da fricção dos vagões com a via-férrea. Os comboios supercondutores já são explorados comercialmente na **China** e na **Coreia do Sul**, estando em fase de construção no Japão. Na UE, a sua utilização já foi considerada na **Alemanha**, em **Itália** e no **Reino Unido**, mas apenas em Itália o projeto foi objeto de **renovado interesse**.

Impactos e desenvolvimentos possíveis

A **levitação** magnética ou «**maglev**» é a tecnologia subjacente aos hoverboards e aos comboios supercondutores. Baseia-se na criação de campos magnéticos opostos que se repelem para contrariar a gravidade, elevando assim os objetos magnetizados. A levitação magnética é aplicada em meios de transporte de todos os tamanhos, de hoverboards individuais a comboios de alta velocidade e de grande capacidade.

Os **hoverboards** atuais ainda exigem pavimentos especiais de cobre, estando em curso trabalhos destinados a permitir a levitação sobre betão ou água. O primeiro protótipo foi apresentado em 2015, mas desde então **nada mais foi anunciado**.

O primeiro comboio supercondutor comercial liga o Aeroporto Internacional de Xangai Pudong à periferia da cidade de Xangai, com ligação à rede de metro de Xangai. A ligação, inaugurada em 2003, atinge **velocidades superiores a 500 km/h**. Os comboios supercondutores deverão ainda entrar em funcionamento no **Japão**, fazendo a ligação entre Tóquio e Nagoia (286 km), até 2027, e Osaka (410 km), até 2045, a velocidades máximas de 500 km/h. Espera-se que esta tecnologia venha a evoluir para o **Hyperloop** – uma cápsula que se desloca a alta velocidade dentro de um tubo de transporte magnetizado. Um percurso proposto para o Hyperloop é a ligação entre Los Angeles e a baía de São Francisco.



A longo prazo, os comboios «maglev» oferecem a perspectiva de viajar a uma velocidade superior à dos comboios convencionais sem o impacto ambiental da aviação (ruído e poluição), ligando grandes áreas metropolitanas separadas por várias centenas de quilómetros.

Para além de oferecer um meio de transporte confortável, a introdução da tecnologia de comboios «maglev» pode alterar a nossa perceção da distância. Ao permitir-nos percorrer longas distâncias em tempos mais curtos, pode contribuir para aumentar a fixação da população dentro e fora dos limites urbanos. Os comboios supercondutores podem ligar capitais a cidades secundárias, conferindo um novo impulso a cidades secundárias com estações «maglev».

Os comboios «maglev» requerem uma infraestrutura específica, que pode obrigar a repensar a política de transportes da União. A rede transeuropeia de transportes (RTE-T) é um programa da UE que visa, nomeadamente, financiar infraestruturas ferroviárias com o objetivo de criar uma vasta rede em toda a União. A RTE-T visa os congestionamentos, bem como as infraestruturas transfronteiriças e multimodais (conectividade dos caminhos-de-ferro com portos e autoestradas). Como a base da rede são os caminhos-de-ferro convencionais, o «maglev» irá proporcionar a oportunidade de uma profunda reestruturação da rede.

Em contrapartida, os hoverboards são uma tecnologia ainda relativamente nova, mas poderão revolucionar a forma como as pessoas e os bens se deslocam em pequenas distâncias, constituindo uma alternativa rápida à deslocação a pé, de automóvel ou de transportes públicos, ou ainda uma forma mais eficaz de mover mercadorias no interior de uma unidade de produção.

Numa fase inicial, os hoverboards «maglev» deverão ser utilizados em espaços onde circulam peões. À medida que a tecnologia for evoluindo, os hoverboards poderão cobrir maiores distâncias de levitação e atingir velocidades mais elevadas, podendo surgir a necessidade de **criar faixas exclusivas para hoverboards**, a fim de facilitar a coexistência dos peões e das pessoas que se deslocam de hoverboard nos espaços públicos.

A tecnologia «maglev» pode, contudo, orientar-se também para domínios de aplicação completamente diferentes no futuro próximo. O projeto GABRIEL, cofinanciado pela UE (financiamento do 7.º Programa Quadro no período 2007–2013), investiga a **viabilidade** da utilização da tecnologia «maglev» para **a aterragem e a descolagem de aviões**, reduzindo, assim, o consumo de energia, os custos e o ruído.

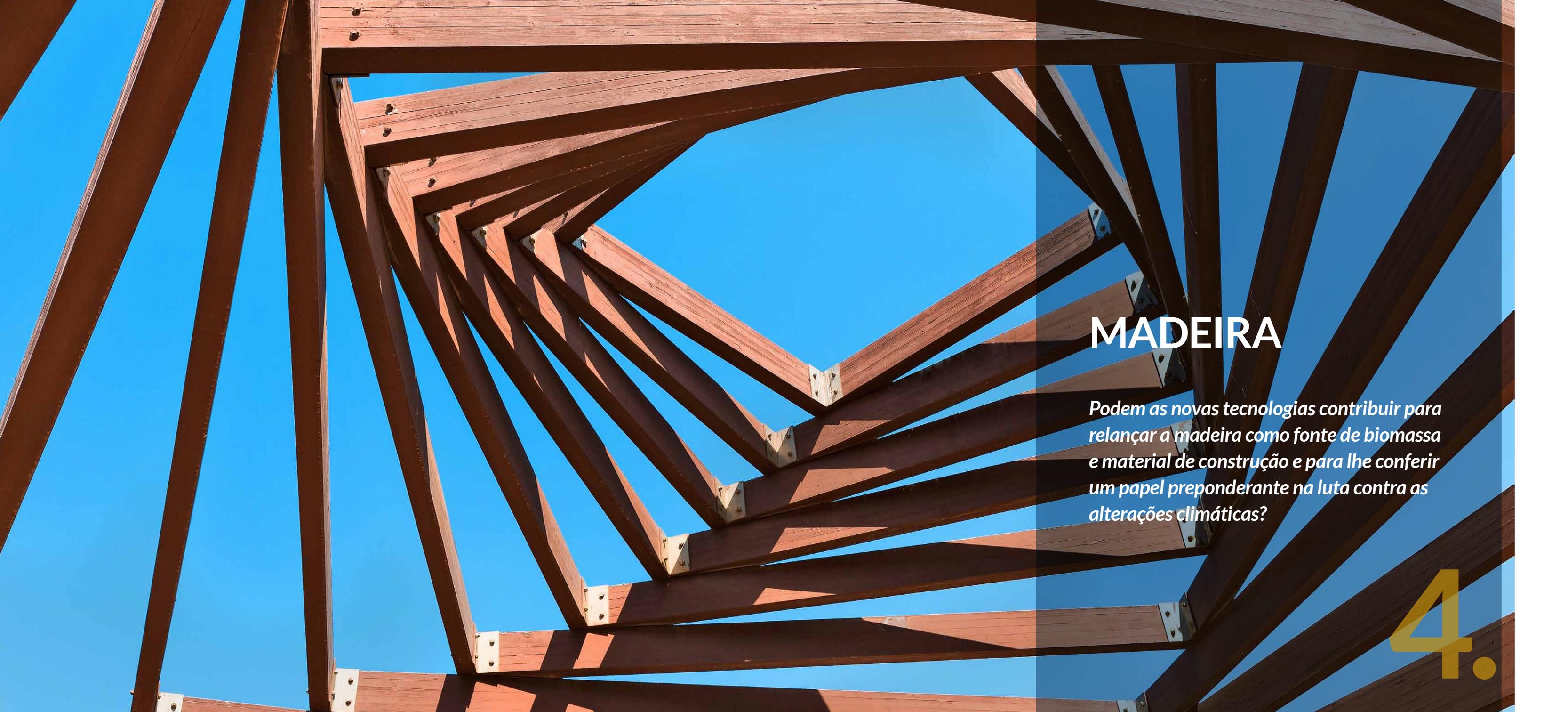
Elaboração de políticas que antecipem o futuro

Um dos maiores obstáculos à introdução do transporte «maglev» reside na necessidade de espaço e infraestruturas específicos e separados das atuais redes ferroviárias ou rodoviárias.

Os comboios «maglev» ainda só operam comercialmente na China e na Coreia do Sul, mas vão entrar em serviço no Japão dentro de aproximadamente uma década. A UE terá de decidir se pretende continuar a ser parte ativa nesta nova tecnologia, apoiando os desenvolvimentos das primeiras aplicações comerciais em locais selecionados, por exemplo, através do programa de funcionamento da RTE-T.

A mais longo prazo, é provável que as maiores potencialidades os comboios «maglev» residam na ligação transfronteiriça entre áreas metropolitanas da Europa, cenário em que a UE pode desempenhar um papel decisivo na criação das condições adequadas para que essas ligações transfronteiriças se tornem realidade.





MADEIRA

Podem as novas tecnologias contribuir para relançar a madeira como fonte de biomassa e material de construção e para lhe conferir um papel preponderante na luta contra as alterações climáticas?

4.

A madeira é utilizada pela civilização humana há muitos milhares de anos, desempenhando um papel crucial como combustível ou material de construção, ou ainda na construção de mobiliário, maquinaria, transportes e objetos do quotidiano.

A pressão para consagrar mais terras à agricultura, a par de séculos de utilização de madeira para a construção naval ou como combustível, reduziram drasticamente a cobertura florestal do planeta, ainda antes de se colocar o problema das alterações climáticas. Simultaneamente, nos últimos séculos e em quase todo o mundo, a madeira tem sido substituída, enquanto material de construção, por betão e aço e, enquanto combustível, por combustíveis fósseis.

Contudo, o recente debate sobre as alterações climáticas, desencadeado pelos crescentes níveis de CO₂ e de outros gases com efeito de estufa na atmosfera **reavivou o interesse na madeira** enquanto material de base para a produção de biomassa como fonte renovável de energia, ou enquanto material de construção, já que tais utilizações teriam um efeito positivo no equilíbrio de CO₂ na atmosfera.

Impactos e desenvolvimentos possíveis

Embora o setor dos transportes esteja gradualmente a abandonar os motores de combustão em favor da energia elétrica, especialmente no transporte de curta distância, é de prever que continuem a existir áreas do setor dos transportes, como o transporte marítimo ou a aviação, em que os sistemas de propulsão baseados em hidrocarbonetos continuarão a ser a opção mais vantajosa.

No atual esforço para promover a transição para fontes de energia renováveis, a madeira pode desempenhar um papel importante, não só enquanto substituto do carvão nas centrais elétricas, mas também como material de base para a produção de combustíveis líquidos ou gasosos para os transportes.

No setor da construção, a **substituição** do aço e do betão por madeira pode ter um impacto significativo no **balanço de carbono**. Dado que, atualmente, a produção de aço e de betão provoca a emissão de grandes quantidades de CO₂ para a atmosfera, a substituição destes materiais por madeira na construção resultaria na captura em grande escala de carbono atmosférico pelas árvores e o subsequente armazenamento deste carbono nas estruturas de construção. A madeira está cada vez mais a ser redescoberta como material de construção, mesmo para edifícios residenciais altos ou

para a construção industrial. Os estudos indicam que uma utilização mais generalizada da madeira poderá ter um efeito real em termos de captura de carbono suficiente para compensar metade das atuais emissões de CO₂ dos transportes. Enquanto material de construção, a madeira apresenta igualmente inúmeras vantagens, como isolador térmico e acústico e regulador da humidade, com impacto positivo nos ocupantes dos edifícios.

Nos últimos anos, a promoção das energias renováveis para a **produção de eletricidade** originou a construção de numerosas **centrais elétricas de grande escala alimentadas a madeira**. Todavia, a pegada de carbono destas centrais depende, em larga medida, das fontes de madeira utilizadas. Acresce que, para serem eficientes, estas centrais têm de ser grandes, o que pode tornar difícil encontrar madeira suficiente em locais próximos para assegurar a sua laboração. Se a madeira tiver de ser transportada por longas distâncias para estas centrais, o impacto ambiental das centrais a madeira é muito menos positivo.

Paralelamente, o custo crescente dos combustíveis fósseis renovou o interesse na utilização de madeira para aquecimento doméstico. Não obstante, a utilização de madeira insuficientemente seca em lareiras insuficientemente adaptadas pode constituir uma fonte maciça de **poluição atmosférica** interior e exterior. Se queremos explorar a madeira para dar um contributo positivo para o impacto ambiental da produção de eletricidade e de calor, devemos otimizar a forma como recolhemos e utilizamos a madeira em centrais elétricas descentralizadas e/ou distribuir o calor através de sistemas de aquecimento urbano e não através de múltiplas lareiras domésticas.

O renovado interesse na madeira como matéria-prima e fonte de energia renovável deverá exercer pressão no sentido de reverter terras agrícolas pouco produtivas em florestas. Esta mudança seria compensada pelo aumento da **produtividade** das restantes terras ou pela redução do desperdício no consumo de alimentos.

Enquanto o norte da Europa já possui uma cobertura florestal relativamente densa, o interesse renovado na madeira e o consequente impulso de reflorestação poderão ter um impacto ainda maior no sul da Europa e no norte de África, onde as florestas são esparsas desde o início da civilização humana.

Nas últimas décadas, numerosos projetos de **reflorestação** demonstraram que a expansão do **deserto do Sara** pode ser revertida.

Contudo, até agora, estas iniciativas têm estado confinadas ao âmbito regional. Uma nova campanha coordenada, de grande escala, em prol da reflorestação de todas as terras disponíveis em todo o sul da Europa e no norte de África poderia ter um **impacto significativo nos níveis de CO₂ na atmosfera**. Paralelamente, poderia **influenciar a mudança do clima da região**, do atual clima quente e seco para um clima mais húmido e moderado, idêntico ao de outras regiões que, noutras partes do mundo, se encontram nas mesmas latitudes. Por um custo relativamente moderado, da ordem das dezenas de milhares de milhões de euros, a reflorestação pode criar milhões de postos de trabalho e constituir o catalisador do desenvolvimento de uma economia sustentável baseada na madeira na região do Mediterrâneo.

Elaboração de políticas que antecipem o futuro

Ao contrário do que acontece com as culturas agrícolas, a produção florestal pressupõe uma perspetiva e uma abordagem muito mais prolongadas no tempo. Acresce que, a longo prazo, as campanhas de reflorestação só serão bem-sucedidas se, paralelamente, for **criado um setor da economia baseado na madeira**. A elaboração de políticas pode desempenhar um papel crucial a vários níveis. Inicialmente, uma campanha de reflorestação requer a disponibilização de fundos públicos e campanhas de informação e comunicação que assegurem a adesão das populações locais ao esforço mais geral. O apoio popular pode ainda ser fomentado pela organização de uma transferência sistemática de tecnologia suscetível de melhorar a utilização das novas florestas.

A utilização mais generalizada da madeira como material de construção exige que as normas de construção sejam rapidamente adaptadas aos progressos da tecnologia da madeira.

Por seu turno, a utilização mais generalizada da madeira como biomassa para a produção de energia renovável poderia beneficiar de um sistema mais eficaz de recolha local dos recursos de madeira disponíveis e, ao mesmo tempo, desencorajar os agregados familiares de queimarem madeira para aquecimento ou para cozinhar.

Dado o crescimento da população mundial, seria problemático expandir as áreas destinadas às novas florestas em detrimento das terras agrícolas utilizadas para produção de géneros alimentícios. A melhor solução seria utilizar terras não adequadas para a produção agrícola, nomeadamente terras mais áridas. Programas de investiga-



ção públicos poderiam otimizar as espécies de árvores a cultivar nesses ambientes menos favoráveis, enquanto a tecnologia de satélite poderia ajudar a acompanhar os programas de florestação e a otimizar o seu impacto no clima a nível regional e mundial.



AGRICULTURA DE PRECISÃO

Se reforçássemos a agricultura de precisão na Europa, poderíamos promover a resiliência alimentar e assegurar, simultaneamente, a sustentabilidade e os postos de trabalho, sem deixar de ter em conta a grande diversidade da agricultura da UE?

5.

Por **agricultura de precisão** entende-se o recurso à tecnologia para melhorar a relação entre a produção agrícola (geralmente alimentos) e os fatores de produção agrícola (terra, energia, água, fertilizantes, pesticidas, etc.). Consiste em utilizar **sensores** para identificar com precisão (no espaço ou no tempo) as necessidades das culturas ou dos animais e, em seguida, intervir de uma forma orientada para maximizar a produtividade de cada planta e de cada animal, minimizando, ao mesmo tempo, o desperdício de recursos.

Estas tecnologias desempenharão um papel fundamental no desenvolvimento agrícola nas próximas décadas. A agricultura de precisão pode contribuir para alimentar a crescente população mundial, ainda que os aumentos de produtividade sejam baixos e a superfície agrícola seja cada vez mais reduzida. A agricultura de precisão já disponibiliza tecnologias para uma maior produção agrícola com menos fatores de produção envolvidos. Por exemplo, os sistemas de acompanhamento por sensores melhoram as previsões de produção e facultam aos agricultores melhor informação e alertas precoces sobre o estado das culturas.

Outra promessa da agricultura de precisão é reduzir o impacto ambiental negativo do setor da agricultura. De acordo com o **Eurostat**, a agricultura é responsável por cerca de 10 % das emissões de gases com efeito de estufa da UE. Além disso, existem sérias preocupações sobre a utilização excessiva de **fertilizantes e pesticidas**, bem como sobre a erosão do solo. A agricultura de precisão poderia contribuir, de forma significativa, para a resolução destes problemas.

Impactos e desenvolvimentos possíveis

A principal promessa da agricultura de precisão é a de que permitirá produzir mais alimentos com menos fatores de produção, como fertilizantes e pesticidas, tornando a agricultura simultaneamente mais produtiva e mais sustentável. Conforme sublinhado num **estudo recente do STOA**, a agricultura de precisão pode também dar um importante contributo tanto para a segurança alimentar como para a segurança dos alimentos. No essencial, pode assentar principalmente nas seguintes abordagens:

- **Sistemas de direção automatizados**, que permitem otimizar a utilização da maquinaria agrícola nos campos, em conjugação com técnicas de geocartografia que recolhem e fornecem dados sobre as propriedades do solo e os níveis de nutrientes de solos específicos.

- **Teledeteção**, que permite recolher dados à distância para avaliar a saúde do solo e da cultura, medindo parâmetros como humidade, nutrientes, compactação e doenças das culturas. São efetuadas medições térmicas, óticas, mecânicas e químicas por sensores para quantificar a biomassa das culturas, o stress das plantas, as pragas, as doenças, as propriedades do solo, as condições climáticas e o comportamento animal.
- Robôs agrícolas especializados permitirão no futuro minimizar a **compactação do solo** provocada pela maquinaria agrícola pesada. Poderá mesmo ser considerada a utilização de grupos de robôs – vários robôs simples, mas multifuncionais, que podem ser coordenados de forma distribuída e descentralizada, em função das tarefas necessárias. Estas máquinas serão mais leves e capazes de intervir unicamente quando necessário, mas estarão sempre nos campos.

A agricultura de precisão poderá desencadear mudanças sociais. Nomeadamente, poderá mudar a atual perceção da agricultura como setor económico que requer pessoal pouco qualificado, tornando-a **mais atrativa para as novas gerações**. Para a pôr em prática será necessário um **enorme investimento em tecnologias sem fios nas zonas rurais**, colmatando a lacuna que as separa das zonas urbanas. A agricultura de precisão pode, pois, travar o êxodo das zonas rurais para zonas urbanas, uma vez que algumas das principais razões que levam as pessoas a mudar-se para as cidades – disponibilidade de assistência, produtos e serviços – poderão deixar de existir.

O pressuposto geral de que a globalização tem transformado as nossas economias em economias do conhecimento também é válido para a agricultura. A generalização da agricultura de precisão exigirá a aquisição de novas competências. Será necessário dominar vários tipos de técnicas para utilizar a agricultura de precisão, tais como competências tecnológicas, ambientais e de gestão. Os jovens agricultores terão de se dotar da combinação certa de competências específicas da agricultura e de competências transversais de base para poderem praticar a agricultura de precisão, pelo que a profissão de agricultor se poderá tornar mais atrativa para os jovens. Além disso, as tecnologias da agricultura de precisão poderão efetivamente aumentar o nível de ensino nas zonas rurais.

A agricultura de precisão pode ainda contribuir para melhorar a paisagem rural. Com a utilização de tecnologia mais inteligente, os

campos amplos e monótonos que dominam a paisagem passarão a ser menos necessários, e a paisagem poderá ser mais diversificada, com campos, árvores, arbustos e espaços naturais. A agricultura de precisão pode ainda ter um impacto ambiental significativo, uma vez que permitirá a retirada seletiva da produção das zonas mais sensíveis do ponto de vista ecológico.

Não obstante, ao considerar a **agricultura de precisão** na UE não podemos perder de vista o facto de a agricultura ser, em muitos aspetos, heterogénea nos 28 Estados-Membros da UE. Esta diversidade incide em aspetos como os modelos empresariais, setores de produção, práticas agrícolas, emprego – tanto em termos absolutos como em percentagem da população ativa –, os níveis de escolarização e as competências dos agricultores e a produção agrícola. O impacto societal da agricultura de precisão será mais forte nos países com as mais elevadas percentagens de população ativa a trabalhar na agricultura.



Elaboração de políticas que antecipem o futuro

A grande diversidade da agricultura da UE, nomeadamente em matéria de dimensão das explorações, tipos de cultivo, práticas agrícolas, produção e emprego, representa um desafio para os decisores políticos europeus. Quaisquer medidas políticas europeias deverão considerar separadamente os Estados Membros, devido ao facto de as oportunidades e as preocupações serem bastante diferentes em cada um destes países.

Independentemente do que possa vir a ser o contexto económico nas próximas décadas, a agricultura de precisão será necessária aos agricultores da UE para aumentar a sua produtividade num contexto de menor disponibilidade de terras aráveis.

A investigação e o desenvolvimento serão uma força motriz essencial para criar os empregos agrícolas do futuro. Do mesmo modo, é de prever um **reforço da I&D em matéria de agricultura**, com mudanças significativas em relação à política agrícola comum (PAC) (2021–2027). Poderão ser investidos mais fundos, por exemplo, em **tecnologias de ponta como biossensores, robótica, espectrógrafos e acervos de imagens**.

A UE poderá intensificar a sua política de desenvolvimento rural, financiando a inovação agrícola e florestal através de medidas suscetíveis de apoiar a criação de grupos operacionais, serviços de inovação, investimentos ou outras abordagens. Estes programas de promoção da agricultura de precisão poderão igualmente servir outros objetivos sociais, como o desenvolvimento territorial equilibrado ou a aprendizagem ao longo da vida.

Outra opção política possível é o estabelecimento de um terceiro pilar no âmbito da PAC 2021–2027 consagrado às tecnologias ecológica e sustentável.



TECNOLOGIAS QUÂNTICAS

Poderá a bem implantada – mas contraintuitiva para não cientistas – teoria da mecânica quântica vir a revolucionar equipamento técnico comum, como sensores, dispositivos de comunicação e computadores?



A **mecânica quântica** é uma teoria científica que revolucionou a nossa compreensão do universo, sobretudo a nível microscópico. No mundo da física clássica, um sistema está sempre num determinado estado (por exemplo, um corpo em repouso ou em movimento com uma velocidade bem definida), enquanto no mundo quântico um sistema pode estar numa sobreposição de dois ou mais estados. Uma medição nesse estado de sobreposição provoca o seu «colapso» para um único estado. Assim, contrariamente ao mundo clássico, onde é possível medir um sistema sem o alterar, no mundo quântico uma medição pode ter um grande impacto no estado do sistema.

Impactos e desenvolvimentos possíveis

Por muito contraintuitiva que possa parecer a um leigo, a teoria quântica está já na base de muitas tecnologias correntes, como o **transistor** e o **laser**. Contudo, atualmente, os cientistas conseguem controlar com elevada precisão os estados microscópicos dos sistemas quânticos individuais. Esta capacidade pode dar origem ao desenvolvimento de novas tecnologias, que se podem dividir em três áreas: **deteção, criptografia e computação**.

Os sensores quânticos abarcam uma vasta gama de dispositivos que utilizam efeitos quânticos para realizar **medições de elevada precisão** de quantidades, como tempo, gravidade e campo magnético. Muitos destes dispositivos poderão ser comercializados nos próximos anos, apresentando os relógios quânticos desde já uma considerável vantagem em relação aos seus **homólogos clássicos**.

A **criptografia** é normalmente realizada pelo recetor de uma mensagem que distribui uma «chave» pública para alguém encriptar uma mensagem que apenas pode ser decodificada com a chave privada na posse do recetor. Este método depende da dificuldade computacional de determinar a chave privada a partir da chave pública, uma vez que é possível que um pirata informático consiga descobrir a chave pública intercetando as comunicações entre as duas partes. A alternativa da criptografia quântica é (pelo menos teoricamente) totalmente segura, já que assenta na lei fundamental segundo a qual a medição de um sistema quântico altera esse sistema – se o utilizarem para transmitir informações, duas partes numa comunicação podem descobrir se alguém ouviu as suas mensagens.

A **computação quântica** poderá ser a tecnologia com maiores potencialidades, embora seja aquela que está menos desenvolvida. Os computadores normais usam «bits» para armazenar e processar a

informação. Aqui, estamos perante componentes eletrónicos com dois estados possíveis, um que representa «0» e outro que representa «1». Um computador quântico permitiria uma «sobreposição quântica» destes dois estados, nos quais podemos pensar como sendo «0» e «1» ao mesmo tempo. Estas sobreposições acelerariam muito consideravelmente a computação de determinados problemas, alguns dos quais levariam milhares de milhões de anos a resolver num computador comum, mas apenas algumas horas num computador quântico.

Há várias aplicações conhecidas para computadores quânticos, uma das quais consiste em calcular o comportamento de outros sistemas quânticos, o que iria transformar o desenvolvimento de novos produtos químicos, medicamentos e materiais, que atualmente obriga a criar e a testar novas substâncias para saber se as mesmas são úteis ou prejudiciais. Outra aplicação possível é na **inteligência artificial**, embora não sejam claras as vantagens que os computadores quânticos ofereceriam neste domínio.

Contudo, embora possam ajudar a resolver uma série de problemas, as tecnologias quânticas podem também, potencialmente, criar novos problemas. Um cenário possível é o de, no futuro, a computação quântica permitir que outros quebrem os nossos **protocolos criptográficos**. Todavia, esta ameaça pode constituir um fator de motivação considerável para o desenvolvimento da criptografia quântica, que proporcionaria proteção contra um ataque desta natureza. A segurança a longo prazo dos nossos sistemas de encriptação pode, pois, depender de uma evolução da criptografia quântica que se mantenha a par da evolução da computação quântica.

No entanto, um futuro computador quântico poderia ser utilizado não só para decodificar futuras transmissões, mas também dados intercetados e registados em décadas anteriores. Por conseguinte, e a menos que fique demonstrado que a computação quântica é completamente inexecutável, as organizações que querem manter as suas informações atuais seguras nas próximas décadas irão provavelmente continuar interessadas em sistemas criptográficos quânticos.

Elaboração de políticas que antecipem o futuro

É já considerável o interesse público e privado no desenvolvimento das tecnologias quânticas. Os **Países Baixos** e o **Reino Unido** têm programas nesta área que atraíram centenas de milhões de euros de financiamento, tanto de entidades públicas como da indústria. Recen-



temente, a Comissão Europeia anunciou um plano para investir mil milhões de euros numa **iniciativa emblemática no domínio das tecnologias quânticas**.

Tal como em muitas outras novas tecnologias, é importante considerar a forma de ultrapassar o «vale da morte», como é conhecido o fosso entre a investigação científica e a aplicação comercial. De um modo geral, existe a convicção de que os aspetos científicos subjacentes às tecnologias quânticas são bem compreendidos, e a investigação está agora a avançar das experiências de demonstração para a construção de dispositivos úteis. Contudo, como a aplicação comercial de muitas destas tecnologias ainda está um pouco distante, o investimento de empresas privadas continua a ser uma fração do disponibilizado para as tecnologias convencionais. Os programas de investimento públicos são importantes para **aproximar as tecnologias quânticas da viabilidade comercial**, pelo que será necessário acompanhar de perto a eficácia dos atuais programas a este respeito.

Um aspeto específico que poderá exigir um grande investimento público é o das infraestruturas necessárias para a **criptografia quântica**. É provável que esta tecnologia exija fibras óticas especiais para transmitir fótons únicos (partículas de luz) de forma que permita manter o seu estado quântico. Existem já iniciativas para desenvolver esta infraestrutura na China, no Japão e nos Estados Unidos, bem

como em alguns Estados-Membros. Para permitir a comunicação quântica na UE, bem como em todo o mundo, é necessária uma rede ininterrupta. Outra opção seria o desenvolvimento de novos protocolos de encriptação «pós-quântica» sem qualquer algoritmo quântico conhecido que permitisse quebrá-los.

Quanto aos computadores quânticos, aquilo que poderão fazer continua a ser objeto de intensa investigação. A capacidade de quebrar protocolos de criptografia existentes é uma aplicação que poderá ter consequências negativas, e é possível que, no futuro, sejam desenvolvidas novas aplicações nocivas, nomeadamente a capacidade de quebrar outros protocolos de segurança atualmente considerados seguros contra um ataque quântico. Por conseguinte, poderá ser prudente regulamentar o acesso a este tipo de dispositivos. Contudo, um modelo de negócio provável para esta **indústria emergente** passará por permitir que os utilizadores coloquem problemas em linha, o que poderá inviabilizar a sua regulamentação. Acresce que a regulamentação poderá asfixiar o potencial de enorme aceleração do progresso tecnológico e, em consequência, reduzir os seus benefícios para a sociedade.

As tecnologias quânticas oferecem possibilidades fascinantes, que ainda não foram totalmente exploradas, podendo os progressos neste domínio ser acelerados por um maior investimento público. Contudo, os decisores políticos devem prestar particular atenção aos progressos neste domínio, a fim de minimizar as eventuais consequências negativas destas tecnologias.



ETIQUETAS DE IDENTIFICAÇÃO POR RADIOFREQUÊNCIA

Qual será o impacto das etiquetas de identificação por radiofrequência e de outros dispositivos de comunicação de curto alcance na forma como a Internet das coisas transforma o nosso modo de vida?

A **identificação por radiofrequência (RFID)** é uma tecnologia que está a ser introduzida em grande escala para **substituir os códigos de barras** para rotular os bens de consumo. À luz dos recentes escândalos no setor da alimentação, isto poderá, entre outras coisas, facilitar uma **rastreabilidade dos alimentos e bebidas** mais exaustiva do que o código de barras.

A RFID é igualmente a tecnologia subjacente às **etiquetas que são já comuns no vestuário**, em livros ou noutros produtos e que podem ser facilmente distinguidas graças a uma espécie de espiral ou a um pedaço de folha de alumínio que funciona como antena. Com esta tecnologia, os produtos podem ser detetados quando passam por um portal que contenha o leitor correspondente. Este sistema é idêntico a alguns **sistemas antirroubo** antigos, com a diferença que, atualmente, os produtos podem ser identificados para outros fins, por exemplo, para faturação ou para verificar as suas características.

Tal é possível devido ao facto de a etiqueta conter um número de identificação mais extenso do que o utilizado nos códigos de barras e estruturado de forma a poder ser utilizado para aceder diretamente a bases de dados na Internet que contêm informações adicionais.

Esta capacidade do leitor para não só identificar o produto, mas também aceder a uma série de informações conexas, deu origem

a ideias como a de objetos inteligentes ou da **Internet das coisas**. Um objeto inteligente é um objeto que interage não só com pessoas, mas também com outros objetos inteligentes. A Internet das coisas é a integração de dispositivos físicos, veículos, edifícios e outros artigos com eletrónica, software, sensores, acionadores e conectividade em rede que permite a estes objetos recolherem e trocarem dados.

Estão constantemente a surgir novas aplicações para estas ideias, e a investigação neste domínio é cada vez mais intensa. As etiquetas RFID podem ser úteis durante todo o ciclo de vida dos produtos, desde a recolha das peças ou das matérias-primas necessárias, passando pelas cadeias de produção e distribuição, incluindo os pontos de venda, até aos processos de reciclagem e gestão de resíduos. Além disso, permitem reduzir as filas nos supermercados, uma vez que todos os produtos do carrinho podem ser lidos instantaneamente.

Os utilizadores também podem beneficiar da capacidade dos objetos de facultarem acesso às **informações conexas**, como instruções de utilização, às quais os eletrodomésticos podem aceder diretamente. Por exemplo, um saco de alimentos pode colocar o frigorífico à temperatura adequada para a sua conservação ou alertá-lo para a proximidade das datas de termo de validade, ou ainda informar o micro-ondas da temperatura e do tempo de cocção necessários.

Não obstante, o conceito de rastreamento de objetos suscitou algumas preocupações. Embora um smartphone tenda a ser sempre um dispositivo relativamente visível, o facto de existir uma etiqueta oculta num objeto que pode, misteriosamente, conferir acesso a tanta informação pode ser considerado uma ameaça.

Impactos e desenvolvimentos possíveis

Importa notar que, por razões de eficácia e de preço, as etiquetas RFID de base utilizadas para rastrear bens de consumo funcionam em frequência ultraelevada (UHF) e são passivas (ou seja, sem bateria). Este aspeto é importante, já que define as propriedades e as capacidades da etiqueta. A utilização da UHF significa que o alcance de leitura pode ser relativamente longo em determinadas condições mas, por outro lado, a ausência de bateria significa que é necessário utilizar a energia do sinal portador emitido pelas antenas ligadas ao leitor.

Além disso, a UHF tende a funcionar mal na presença de líquidos (que absorvem a energia) ou de metais (que refletem o sinal e criam interferência). Devido a todos estes fatores, os leitores são necessa-

riamente muito caros e visíveis (como os arcos de leitura das lojas) ainda que as etiquetas não o sejam.

Outra implicação da necessidade de as etiquetas serem tão simples (para consumirem muito pouca energia) é a de os **protocolos de comunicação** utilizados serem **muito básicos**. Isto faz com que **não sejam seguros**, uma vez que não incluem encriptação ou qualquer outra medida de proteção. A investigação nestes domínios prossegue, mas, por enquanto, as informações podem ser adulteradas de várias formas (contrafação, interceção de mensagens, clonagem, falsificação de dados, interferência, etc.).

Tal como as etiquetas RFID UHF básicas, existem outras etiquetas que são muitos comuns e ainda mais simples, como as que utilizam tecnologia de comunicação de campo próximo (NFC). A NFC utiliza frequências mais baixas e as etiquetas apenas podem ser lidas a muito curta distância (normalmente com um dispositivo manual) e uma de cada vez. A vantagem é que o leitor necessário para o efeito é simples e barato.

Por outro lado, existem muitos outros tipos de etiquetas com capacidade melhorada; por exemplo, se lhes for acrescentada uma bateria (que as transforma em «etiquetas ativas») as etiquetas podem tornar-se suficientemente complexas para poderem ser utilizadas em diversas aplicações. As etiquetas ativas podem incluir sensores, acionadores e uma memória grande e permitir comunicações de maior alcance. Todas estas possibilidades agravam a preocupação da opinião pública quanto às aplicações desta tecnologia.

Elaboração de políticas que antecipem o futuro

Importa notar que as pequenas etiquetas que podem estar ocultas em objetos do quotidiano são, presentemente, dispositivos simples e passivos, com uma capacidade bastante limitada (as mais potentes são normalmente maiores e muito mais visíveis). Por conseguinte, é sempre difícil ler uma etiqueta, sobretudo na UE, onde a potência dos leitores foi limitada por lei a dois watts (enquanto os Estados Unidos autorizam quatro watts), razão pela qual o alcance de leitura não vai, por norma, além dos dois metros.

Além disso, como funcionam de forma muito idêntica aos radares, os leitores são facilmente detetados e controlados pelas autoridades. Importa, contudo, não esquecer que estas etiquetas foram con-

cebidas para bens de consumo simples. Em consequência, mesmo que sejam vastas as possibilidades associadas à sua utilização, não é provável que as etiquetas venham a ser utilizadas por um hipotético «Big Brother».

Por outro lado, os especialistas estão **muito atentos à segurança desta tecnologia em determinadas aplicações**. Para começar, seria importante definir um limite realista para a potência dos leitores, pois este aspeto constitui uma séria limitação. Embora dois watts quase não afetem, tanto quanto se sabe, o corpo humano, importa ter em conta o facto de a UHF utilizar o mesmo comprimento de onda que os micro-ondas. Consequentemente, existe preocupação quanto à possibilidade de ocorrência de «zonas críticas» em certos locais, suscetíveis de afetar produtos biológicos.

Por exemplo, as **etiquetas UHF RFID estão a ser utilizadas em hospitais** para rastrear os sacos de sangue, mas, aparentemente, não foi realizado qualquer estudo específico sobre os efeitos potenciais dos leitores na preservação destes produtos.

Muito pode ainda ser melhorado na RFID, apesar de a tecnologia já estar disponível, e são inúmeras as suas possíveis aplicações. É um facto que não é possível garantir que esta tecnologia não tenha falhas e seja inviolável; contudo, as etiquetas simples concebidas para identificar produtos de consumo não podem ser comparadas com os dispositivos que podem ser utilizados para rastrear pessoas, como é o caso dos smartphones. Por outro lado, esta importante tecnologia pode seguramente contribuir para solucionar os inúmeros problemas inerentes às cadeias de abastecimento e que afetam os consumidores. Poderá ser preferível aceitar a possibilidade remota de as autoridades saberem o que estamos a comer do que correremos um risco de intoxicação alimentar.





GRANDES VOLUMES DE DADOS (*BIG DATA*) E CUIDADOS DE SAÚDE

Os grandes volumes de dados podem criar grandes oportunidades no domínio dos cuidados de saúde, mas como assegurar que têm benefícios para todos?

8.

Os progressos no domínio dos **cuidados de saúde** conduziram a um extraordinário **aumento da esperança de vida** e à melhoria da **qualidade de vida** nos últimos séculos. Paralelamente, os cuidados de saúde consomem uma parte crescente do PIB na maior parte dos países do mundo.

Neste contexto, as novas ferramentas de grandes volumes de dados oferecem perspectivas aliciantes, ao prometerem melhorar os diagnósticos, aumentar a eficácia dos métodos de tratamento atuais e permitir encontrar novas curas com menos esforço do que o requerido pelos métodos de investigação tradicionais.

Impactos e desenvolvimentos possíveis

Poderão ser obtidos enormes benefícios a três níveis:

(i) A **investigação médica** tradicional que exige grandes ensaios ou levantamentos pode tornar-se **menos onerosa e mais célere**

Quando se realizam **grandes ensaios clínicos** ou levantamentos para experimentar um novo medicamento, avaliar a eficácia de novos tratamentos ou compreender melhor as causas de determinadas doenças, são recolhidas grandes quantidades de dados de um grupo significativo de doentes com vista a responder a perguntas muito concretas.

Após a conclusão dos estudos, estes vastos conjuntos de dados são muitas vezes liminarmente arquivados, apesar de poderem ser úteis para outros investigadores responderem a perguntas suscitadas por investigações conexas. Por conseguinte, o objetivo consiste em tornar estes conjuntos de dados mais acessíveis à comunidade científica, permitindo a aquisição de novos conhecimentos com um custo mínimo.

Contudo, antes de poderem ser colocados à disposição da comunidade científica, os **dados têm de ser anonimizados**, o que, em certos casos, implica uma carga de trabalho considerável. Por outro lado, a utilização de conjuntos de dados pré-existent para responder a novas questões científicas permitiria aos investigadores evitar a duplicação de esforços e, dessa forma, reduzir o tempo e o custo necessários para a realização de novos estudos.

(ii) Os **novos sensores** facilitam muito a recolha de conjuntos de dados.

Na nossa vida quotidiana, estamos cada vez mais rodeados de dispositivos e sensores inteligentes, que rastreiam a nossa localização

geográfica, contam os passos que damos, controlam o nosso estilo de condução e a nossa atenção quando conduzimos e medem muitas outras quantidades. Os **dados registados pelos sensores** são frequentemente **mais objetivos** do que os fornecidos pelas pessoas nos inquéritos que preenchem e, com os custos cada vez mais baixos das tecnologias dos sensores, pode ser obtido um maior número de parâmetros para grupos cada vez maiores de candidatos de ensaios, o que revoluciona a forma como investigamos e acompanhamos a eficácia dos tratamentos.

(iii) **Serviços de saúde personalizados**

Para além de facilitar a realização de estudos sobre grandes grupos de candidatos de ensaios, o número crescente de sensores que nos rodeiam em permanência – nos dispositivos móveis que utilizamos, na roupa que vestimos, nos automóveis que conduzimos e em muitos mais objetos – permitem, cada vez mais, a prestação de serviços de saúde personalizados. Da mesma forma que os sensores dos automóveis já controlam a frequência com que os condutores pestanejam para os alertar para a sua sonolência, os sensores que temos na nossa roupa poderão, no futuro, alertar-nos se o **risco de um ataque cardíaco** for particularmente elevado ou se o nosso sistema imunitário estiver particularmente fraco e nos arriscarmos a contrair uma gripe.

Ao mesmo tempo que prometem grandes progressos no domínio dos cuidados de saúde, estas novas tecnologias comportam igualmente uma série de desafios sociais, nomeadamente em termos de **proteção de dados**.

A proteção de dados é já uma questão crucial a ter em conta em qualquer estudo clínico. Se os investigadores partilharem estes conjuntos de dados de forma mais alargada no futuro, é ainda mais importante que as normas de privacidade dos dados assegurem uma proteção eficaz aos participantes nos estudos. A rigorosa observância dos procedimentos de consentimento informado assumirá igualmente a máxima importância sempre que os dados fornecidos por pessoas (doentes ou de grupos de controlo) sejam utilizados em investigações diferentes daquela para que foram obtidos.

O número crescente de sensores que nos acompanha na nossa vida quotidiana, e que já recolhe um número crescente de parâmetros sobre a nossa saúde e bem-estar, irá igualmente colocar desafios. Os fabricantes de telemóveis, os operadores de telecomunicações e os

motores de pesquisa da Internet já recolhem quantidades consideráveis de dados relevantes sobre a saúde dos seus clientes, mesmo sem serem ainda considerados intervenientes do setor da saúde. Esta situação tornar-se-á ainda mais crítica quando dispositivos simples, como os telemóveis, forem capazes de efetuar uma avaliação completa do estado de saúde dos seus utilizadores com base no crescente número de parâmetros que recolhem.

Elaboração de políticas que antecipem o futuro

Além da necessidade de atualizar continuamente as normas em matéria de proteção de dados e de privacidade para acompanhar o progresso tecnológico, é necessário considerar questões mais abrangentes no que respeita aos beneficiários desse progresso. Por exemplo, permitir-nos-ão os sensores que utilizamos no nosso corpo detetar o cancro numa fase precoce e, assim, aumentar a probabilidade de cura e reduzir o custo do tratamento? Ou irão antes servir para as empresas aumentarem as tarifas dos seguros das pessoas diagnosticadas com cancro?

Embora as normas da proteção de dados estejam continuamente a ser atualizadas, num mundo crescentemente interligado poderá ser cada vez **mais difícil ocultar o facto de alguém sofrer de uma doença**, por exemplo, de cancro. Será necessário encontrar o justo equilíbrio entre o interesse de uma pessoa na confidencialidade do seu estado de saúde e o benefício que a sociedade pode extrair de um acesso facilitado a dados clínicos anonimizados que podem ser fundamentais para inovações e descobertas clínicas.

Dado que mesmo as melhores leis poderão não conseguir garantir a privacidade em todas as circunstâncias e que temos de admitir que uma doença como o cancro poderá ser divulgada, os legisladores poderão prever o reforço da proteção adotando legislação que minimize o potencial de discriminação. Por exemplo, um sistema que preveja a partilha dos custos do tratamento de doentes com cancro entre todas as companhias de seguros reduzirá a probabilidade de um dado doente ser discriminado por uma companhia de seguros com base na sua propensão para desenvolver cancro ou no seu historial relativamente a esta doença.





ORGANOIDES

Os organoides são órgãos criados artificialmente que reproduzem as propriedades dos órgãos verdadeiros. Que novas portas abrem os organoides ao tratamento de doenças, ao desenvolvimento de medicamentos e à medicina personalizada e regenerativa?

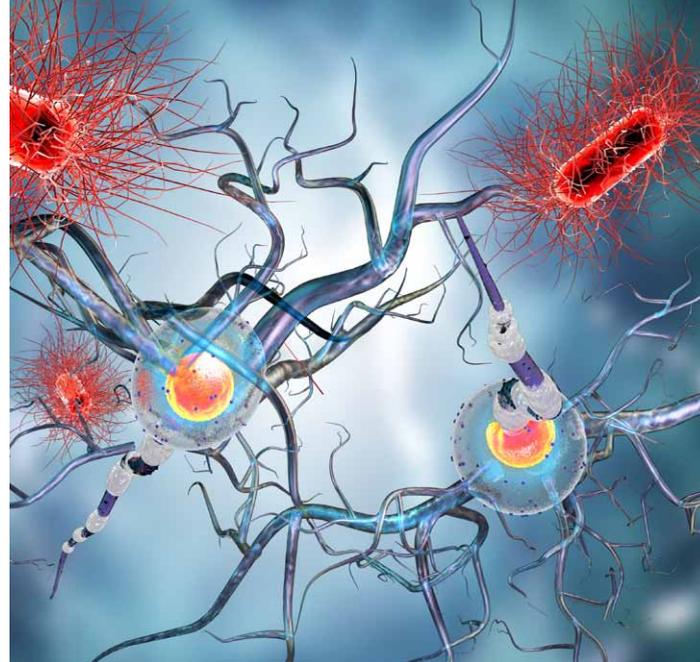
9.

Os **organoides** são pequenos agrupamentos de células humanas cultivados em laboratório para formarem estruturas tridimensionais que reproduzem as funcionalidades dos órgãos verdadeiros, como o fígado, o coração ou os pulmões. Os organoides são gerados a partir de progenitores residentes em órgãos adultos ou derivados de uma ou várias células de um tecido, células estaminais embrionárias ou células estaminais pluripotentes induzidas, que se podem organizar numa cultura tridimensional graças à sua capacidade de autorreplacação e diferenciação. Estes agrupamentos de células são frequentemente cultivados em microrrecipientes especificamente concebidos para o efeito e que ajudam as células a organizar-se da mesma forma que um órgão no corpo humano. São muito semelhante ao tecido humano in vivo e possuem as características genéticas das pessoas de que foram retiradas, pelo que respondem a medicamentos da mesma forma que o órgão correspondente da pessoa em causa. Estas estruturas idênticas a órgãos, que podem ser armazenadas em biobancos, não só são uma poderosa ferramenta para ajudar a compreender melhor os processos fundamentais que regem o desenvolvimento dos órgãos do corpo humano, como prometem benefícios diretos para o tratamento de doentes e o desenvolvimento de medicamentos.

Impactos e desenvolvimentos possíveis

Tratando-se de um dos modelos mais acessíveis e fisiologicamente mais relevantes para o estudo da dinâmica das **células estaminais** em ambiente controlados, espera-se que os organoides permitam melhorar a nossa compreensão da **regeneração de tecidos**, funções das células estaminais/nichos e resposta dos tecidos aos medicamentos, mutações ou lesões e revelar os mistérios de várias doenças do cérebro e perturbações neurológicas. O florescimento de uma tecnologia que permite aos cientistas cultivar matéria idêntica ao cérebro, bem como ao fígado, rins, intestinos e muitos outros órgãos, é considerado um passo decisivo no sentido da reconstituição do funcionamento dos órgãos ex vivo. Além disso, constituem um excelente modelo para rastreios pré-clínicos, terapias direcionadas e personalizadas, aplicações em **medicina regenerativa**, descoberta de medicamentos e ensaios de toxicologia ambiental.

Os progressos na geração de organoides transformou as aplicações de organoides de uma ferramenta de investigação básica numa plataforma translacional como uma vasta gama de funções e aplicações a jusante que superam as possibilidades dos ensaios em animais e



que podem revolucionar o processo de descoberta de medicamentos. Por exemplo, os pequenos órgãos podem servir para ensaiar de forma personalizada medicamentos contra a fibrose cística, ao mesmo tempo que os investigadores começam a utilizar organoides do cérebro como modelos de precisão para estudar uma vasta gama de doenças, como o autismo, a esquizofrenia e a epilepsia.

Além disso, organoides criados a partir de células do fígado podem ser utilizados complementarmente ao transplante de órgãos para restaurar a função hepática em pacientes com uma doença metabólica do fígado e como modelo para o crescimento metastático, bem como em ensaios da resposta de células tumorais a medicamentos novos e existentes. Os organoides de pâncreas, obtidos a partir de células estaminais de pâncreas adultos, são uma das tecnologias mais promissoras para a terapia celular e regenerativa. Estes «intestinos» já permitem ensaiar novos medicamentos contra a fibrose cística e o cancro colorretal. Recentemente, cientistas criaram o primeiro «**biobanco vivo**» a nível mundial para armazenar tumores de doentes e utilizaram o tecido para identificar os medicamentos mais promissores para cada doença, enquanto outros cientistas estão a fazer progressos na criação de grandes conjuntos de células nervosas, com vista à criação de organoides com a dimensão do cérebro. Num futuro próximo, os organoides serão utilizados de forma sistemática em medicina, para ajudar a compreender as doenças geradas durante

o desenvolvimento do embrião ou mesmo para ser transplantados em substituição de órgãos naturais doentes ou em falência. Os organoides têm ainda sido utilizados para estudar processos patológicos, por exemplo em neurónios retirados de pessoas com a doença de Alzheimer.

A par das vantagens dos organoides enquanto forma de ajudar os investigadores a compreender o desenvolvimento dos órgãos naturais e aquilo que pode correr mal nesse processo, a transformação dos organoides em sistemas reprodutíveis e de fácil utilização e a produção para fins comerciais comportam riscos éticos e de segurança, atento o facto de os métodos de cultura estarem ainda numa fase incipiente. Os **organoides personalizados** podem facilitar a organização de **ensaios clínicos personalizados**, que colocam novos riscos e novas preocupações quanto ao seu custo.

Poderão surgir conflitos similares no que diz respeito ao tipo de tecido gerado. Quanto mais próximos os cientistas estiverem de construir um cérebro humano, **maiores serão as questões éticas**, já que tal pode constituir uma séria ameaça aos conceitos relacionados com a integridade humana.

Antecipar questões legislativas

Embora muitas destas tecnologias sejam relativamente novas e careçam ainda de validação e caracterização, o facto de os organoides obtidos a partir da cultura de tecidos vivos retirados das células estaminais dos participantes poderem ser armazenados por um período de tempo muito longo ou praticamente infinito sublinha a necessidade urgente de abordar hoje estas questões. Requisitos de privacidade; termos e condições de inclusão de participantes em trabalhos de investigação/ensaios clínicos; armazenagem e utilização de organoides; divulgação dos resultados, incluindo descobertas secundárias – todos estes aspetos requerem atenção. O **consentimento informado** é indispensável à inclusão de participantes em ensaios e à recolha de células estaminais dos seus tecidos residuais. A armazenagem de organoides em biobancos requer ainda o estabelecimento de procedimentos de consentimento informado específicos, que respondam aos desafios inerentes ao facto de os organoides serem, efetivamente, pequenos órgãos vivos que podem ser utilizados para os mais diversos fins, bem como à ausência de enquadramento jurídico da UE para os biobancos.

A utilização de organoides pode complementar ou mesmo **reduzir os ensaios em animais e a participação de pessoas em ensaios**, o que, por seu turno, pode desencadear uma alteração do atual quadro de autorização de ensaios de medicamentos, ensaios clínicos e produtos químicos.

Outra questão central é a da **propriedade de material biológico** e da sua transformação num produto comercial, a par da questão de saber quão fiel à realidade tem de ser um modelo in vitro do desenvolvimento humano para ser cientificamente válido, mas também eticamente aceitável. À medida que o interesse pela tecnologia dos organoides aumenta, o desenvolvimento comercial de meios de cultura de organoides mais normalizados e validados será importante para assegurar que o sistema de organoides é acessível a um vasto conjunto de cientistas académicos e clínicos, de modo a maximizar o seu potencial.





EDIÇÃO DO GENOMA

Uma nova técnica que simplifica a edição do genoma pode marcar o início de uma nova era de modificação genética. Quais são as vantagens e os potenciais riscos desta técnica e qual deve ser a resposta dos responsáveis políticos?

10.

A **capacidade de modificar genomas** de forma específica, sistemática e rentável é um objetivo antigo dos estudos genômicos. Recentemente, foram desenvolvidas várias técnicas de «**edição do genoma**» para melhorar os métodos de recombinação de genes, incluindo os sistemas CRISPR-Cas, nucleases efetoras semelhantes a ativadores de transcrição (TALEN) e nucleases dedo de zinco (ZFN). Atualmente, o sistema CRISPR-Cas9 destaca-se como o mais rápido, mais barato e mais fiável sistema de «edição» de genes. É considerado o mais marcante no domínio da edição de genes, devido ao seu elevado nível de fiabilidade, à sua eficácia, bem como ao seu baixo custo. Esta trajetória tecnológica deverá reforçar a nossa capacidade de visar e estudar sequências específicas de ADN na vasta extensão de um genoma. O CRISPR-Cas9 tem potencial para segmentar o ADN de qualquer genoma em qualquer localização em muitos tipos de organismos, substituir ou adicionar partes da sequência de ADN através da proteína cas9 e conduzir o ADN até ao interior de uma célula. Esta poderosa ferramenta poderá ajudar os biólogos moleculares a explorar o funcionamento do genoma.

Impactos e desenvolvimentos possíveis

O CRISPR-Cas9 tem grande potencial enquanto ferramenta para modificar ou corrigir diretamente **variações fundamentais do genoma associadas a doenças** e para desenvolver tratamentos baseados em tecidos para o cancro e para outras doenças eliminando genes que causam doenças endógenas, corrigindo mutações que causam doenças ou inserindo novos genes com funções de proteção. Os investigadores esperam utilizar o CRISPR-Cas9 para ajustar os genes humanos de modo a eliminar doenças, combater os micróbios que, em permanente

evolução, podem danificar culturas, assim como eliminar agentes patogénicos e até editar os genes de embriões humanos.

O CRISPR-Cas9 pode ser utilizado para modificar os genes de uma série de organismos com relativa precisão e facilidade, bem como para criar modelos animais para a investigação fundamental. A **edição de genes de animais** pode **umentar a resistência** a doenças, controlar as populações de mosquitos, de modo a atenuar ou erradicar a transmissão da malária, ou mesmo criar «produtos farmacêuticos» (<http://www.wsj.com/articles/the-march-of-genetic-food-progress-1451430187>) — medicamentos desenvolvidos com recurso a animais domesticados — ou melhorar a produção de alimentos. O sistema pode ainda **facilitar o transplante de órgãos de animais para seres humanos**, ao eliminar cópias de retrovírus presentes nos genomas dos animais e suscetíveis de serem prejudiciais para os recetores humanos.

A tecnologia CRISPR-Cas9 permite igualmente modificar o ADN de embriões humanos, o que poderá conduzir a melhorias no bem-estar humano que se refletirão na esperança de vida, na identidade e no rendimento económico das pessoas. Esta tecnologia pode ainda ser utilizada para criar «**impulsionadores genéticos**» que farão com que determinados genes selecionados sejam preferencialmente transmitidos à geração seguinte e, assim, se disseminem rapidamente por populações inteiras.

Por muito fascinantes que sejam as perspetivas que nos abre, a utilização do CRISPR também suscitou **preocupações de ordem ética e social**, relativamente a questões como as de saber se e como a edição de genes deve ser utilizada para introduzir modificações hereditárias no genoma humano, **criar bebés por medida**, gerar edições de genoma potencialmente arriscadas ou eliminar ecossistemas inteiros. A utilização do CRISPR-Cas9 levanta questões éticas e sociais não só em relação aos seres humanos, mas também em relação a outros organismos e ao ambiente, o que levou os cientistas a recomendar uma moratória da introdução de modificações hereditárias no genoma humano. Por exemplo, a utilização do CRISPR como técnica de controlo de pragas pode provocar efeitos ou mutações imprevistos, que podem ocasionar a dispersão do impulsionador genético e o desaparecimento de toda uma população de animais, fugas acidentais e/ou a perturbação irreversível de ecossistemas inteiros. Aliás, as atividades de investigação destinadas a modificar o património genético humano e suscetíveis de tornar tais modificações

hereditárias não são financiadas no âmbito do **Horizonte 2020**, o programa–quadro da UE para a investigação e inovação.

A tomada em consideração do **princípio da não maleficência** na avaliação de riscos e o estabelecimento de uma distinção entre os objetivos clínicos e terapêuticos da edição de genes das suas aplicações/utilizações de aperfeiçoamento também se revelou uma grande fonte de preocupação.

Outro problema importante é a introdução eficiente e segura do CRISPR-Cas9 em células difíceis de transferir e/ou infetar. Entre as demais preocupações incluem-se a perspetiva de danos irreversíveis para a saúde das gerações futuras e o receio de se estar a abrir a porta a novas formas de desigualdade, discriminação e conflito sociais, bem como a uma nova era de **eugenia**.

Antecipar questões legislativas

O ritmo acelerado dos progressos científicos no domínio da edição de genes constitui um desafio particular para a supervisão regulamentar. Além disso, está em curso um debate sobre se o CRISPR-Cas9 deve ser regulamentado como uma técnica de edição de genes ou se será mais adequado controlar os seus produtos caso a caso, numa abordagem baseada nos resultados.

A discussão internacional sobre a situação regulamentar das técnicas de edição do genoma centrou-se em saber se as atuais definições de engenharia genética ou de **organismos geneticamente modificados** podem aplicar-se igualmente a estas ferramentas recentemente descobertas de edição genética.

A Comissão Europeia está a trabalhar numa interpretação jurídica da situação regulamentar dos produtos gerados com recurso a novas técnicas de melhoramento vegetal, a fim de minimizar a insegurança jurídica neste domínio. Esta interpretação poderá abrir caminho a uma decisão sobre se as tecnologias de edição de genes se devem inscrever no âmbito de aplicação na legislação da UE sobre a libertação restrita e deliberada de organismos geneticamente modificados.

Também a atribuição de patente ao CRISPR-Cas9 para utilização terapêutica em seres humanos é juridicamente controversa. Em Fevereiro de 2017, o US Patent and Trademark Office (Instituto de Marcas e Patentes dos Estados Unidos – USPTO) adotou uma decisão sobre quem deveria deter a patente da utilização do CRISPR-Cas9 para a



edição de genes, definindo os termos e as condições de obtenção de lucros a partir desta tecnologia nos próximos anos.

Os **riscos de mutações genéticas hereditárias e imprevisíveis** levantam questões quanto à segurança da técnica e à atribuição da responsabilidade em caso de danos. Num relatório recente, as Academias de Ciências, Engenharia e Medicina dos Estados Unidos pediam cautela na libertação de impulsionadores genéticos em espaços abertos e sugeria «ensaios faseados» com precauções especiais, dado o elevado nível de incerteza científica e os potenciais riscos ecológicos. São necessárias medidas de segurança para evitar a disseminação de organismos suscetíveis de causar danos ecológicos ou afetar a saúde humana.

Com efeito, muitos cientistas alertam para o muito trabalho que há a fazer antes de o CRISPR poder ser utilizado com segurança e eficácia. Nomeadamente, o CRISPR pode criar novos desafios, numa perspetiva de avaliação de riscos, na medida em que os organismos gerados por este método podem conter mais modificações difusas para os genomas dos organismos vivos do que as técnicas de modificação genética tradicionais.



AUTORES DO ESTUDO DO STOA, BRUXELAS, 2017

Edição de **Christian Kurrer** com **James Tarlton** (Unidade da Prospetiva Científica (STOA), Direção-Geral dos Serviços de Estudos do Parlamento Europeu (DG EPRS), Parlamento Europeu)

PRINCIPAIS AUTORES:

Andrés Garcia, Universidade de Castilla La Mancha, Espanha (capítulo 7)

Mihalis Kritikos, Unidade da Prospetiva Científica (STOA) (capítulos 9 e 10)

Christian Kurrer, Unidade da Prospetiva Científica (STOA) (capítulos 1, 2, 4 e 8)

Laura Panades, Faculdade de Direito Truman Bodden, Ilhas Caimão, associada à Universidade de Liverpool, Reino Unido (capítulo 3)

James Tarlton, Unidade da Prospetiva Científica (STOA) (capítulos 1, 5 e 6)

Lieve Van Woensel, Unidade da Prospetiva Científica (STOA) (capítulos 5 e 6)

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a **Gianluca Quaglio** (Unidade da Prospetiva Científica (STOA), **Gregor Erbach** (Unidade das Políticas Económicas, DG EPRS), **Lieve Herman** e **Marc De Loose** (Instituto Flamengo de Investigação para a Agricultura, as Pescas e a Alimentação – ILVO, Melle, Bélgica) pelos seus contributos.

Colaboração de:

André Machado
Pedro Paulos e Cruz
Fernando Vaz das Neves
Fausto Matos

Paginação:

Julio Pisa

Impressão e acabamento:

Cadavalgráfica

Tiragem:

2.000 exemplares

Esta edição está disponível em:

www.carloscoelho.eu

“ *Inteligência artificial, genética, blockchain: a ciência está no cerne das mais promissoras inovações dos nossos dias. A Europa é líder mundial em matéria de ciência e tecnologia e desempenhará um importante papel na promoção da inovação.*

Carlos Moedas, Bruxelas, Outubro de 2017

“ *Num mundo com recursos escassos, globalização sem novas tecnologias é insustentável.*

Peter Thiel, De Zero a Um, 2014