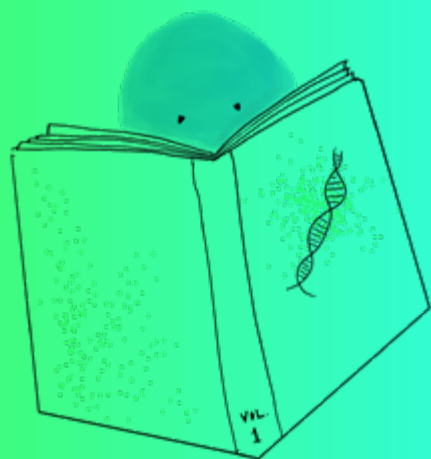


**BIO
TEC
NOLO
GIA**



**A CO
RES**

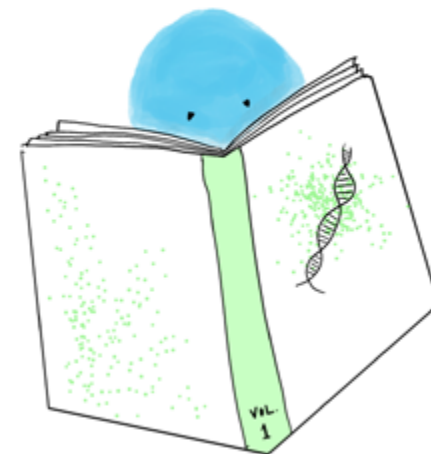
**Uma Enciclopédia
Ilustrada Sobre
Descoberta, Ética
e Ciência**

Este livro foi editado no âmbito do projeto *BIOASSEMBLER* — *Integrando a montagem bioinspirada na tecnologia de fabricação de semicondutores para biossensores*, que recebeu financiamento do Programa de Investigação e Inovação Horizonte Europa da União Europeia ao abrigo do acordo de subvenção 101070589. O livro reflete apenas as opiniões dos autores, e a União Europeia não pode ser responsabilizada por qualquer uso que possa ser feito das informações nele contidas.

<https://bioassembler.eu/>



BIO TEC NOLO GIA



A CO RES

**Uma Enciclopédia
Ilustrada Sobre
Descoberta, Ética
e Ciência**

Título

Biotecnologia a cores.

Uma enciclopédia ilustrada sobre descoberta, ética e ciência.

Autoras

Rita Campos

Kristen Connor

Tradução

Rita Campos

Liam Carney

Ilustrações

Inês Montalvão

Design

Joana Monteiro

Edição

CES, Centro de Estudos Sociais da Universidade de Coimbra,
Coimbra, Portugal. Fevereiro 2026

Edição simultânea em inglês e português.



ISBN: 978-989-9339-02-6

DOI: <https://doi.org/10.48552/o8n6-a611>

Sugestão de citação: Campos R; Connor K. (2026).

Biotechnology a cores. Uma enciclopédia ilustrada sobre
descoberta, ética e ciência. CES, Centro de Estudos Sociais
da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.

*Este livro eletrónico é distribuído gratuitamente, sem restrições
à sua utilização, desde que o conteúdo não seja alterado ou utilizado
para fins comerciais.*

NOTA DAS AUTORAS DOS TEXTOS

Este livro foi moldado tanto pelo conteúdo como pelo processo da sua criação.

Escrever textos curtos e independentes obrigou-nos a fazer escolhas cuidadosas sobre o que incluir, o que simplificar e o que deixar em aberto. Trabalhar com um número limitado de palavras significa aceitar que a clareza muitas vezes não vem de dizer mais, mas de dizer apenas o suficiente. E confiar que quem o lê continuará a pensar além da página.

Cada texto foi escrito em diálogo com especialistas na área. Essas trocas não foram apenas revisões científicas, mas também momentos de aprendizagem partilhada. Questões sobre redação, metáforas e ênfase muitas vezes revelaram suposições de ambos os lados e levaram-nos a repensar como o conhecimento científico é enquadrado quando dirigido a não especialistas. Em alguns casos, o ato de explicar mudou a nossa própria compreensão da ciência em que trabalhamos durante os anos do projeto.

Uma conversa igualmente importante teve lugar com a ilustradora Inês Montalvão e a designer gráfica Joana Monteiro. Como a Inês revela na sua nota, as ilustrações por vezes esclarecem ideias, por vezes desafiam-nas e por vezes abrem novas interpretações que as palavras por si só não antecipavam. As decisões sobre a composição gráfica do livro foram mais uma parte do processo de construção de significado.

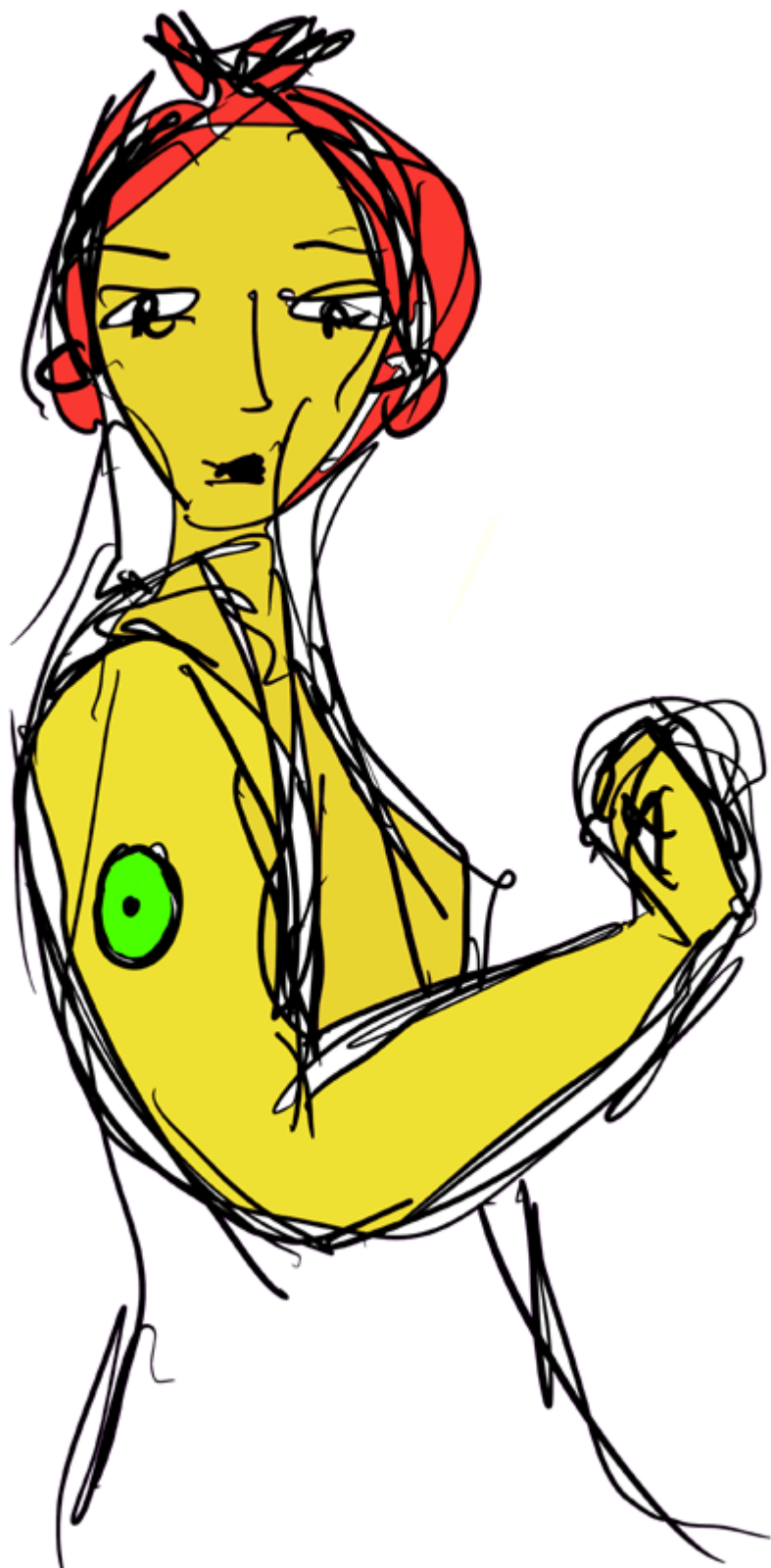
Através deste trabalho colaborativo, abandonámos a voz única e autoritária em troca da aceitação da pluralidade e da incerteza. Convidamos as e os leitores a verem-se como parte deste processo, continuando o diálogo através das suas próprias leituras, perguntas e reflexões. As entradas são concebidas como pontos de partida, como trampolins para uma investigação mais aprofundada. São tudo menos definições fixas ou conclusivas.

Esperamos que aprecie esta viagem tanto quanto nós!

Rita Campos

Kristen Connor

CES, Centro de Estudos Sociais da Universidade
de Coimbra



NOTA DA ILUSTRADORA

O processo criativo das ilustrações para o *BIOASSEMBLER* começou com uma pergunta muito clara sobre liberdade criativa. Não me interessava fazer desenhos técnicos, diagramas explicativos ou imagens que traduzissem a ciência de forma obediente, legível e arrumada. O que me movia era permanecer no incomum – nesses lugares onde o sentido não se explica, apenas se insinua, onde uma imagem pode coexistir com um texto sem o repetir, e ainda assim permanecer em ressonância. Estes desenhos não explicam; acompanham.

Cada ilustração nasce em diálogo com um texto, mas nunca como a sua tradução direta ou literal. Fui atraída pelo que escapa à página: o que fica em suspenso, o resíduo emocional, o detalhe esquecido, a presença humana (ou não-humana) que habita entre linhas. Queria ilustrar a vida de alguém que vive com um sensor e dele depende para prosperar no seu dia a dia — tantas vezes uma mulher como eu — sem a reduzir a dados ou tecnologia. São vidas complexas, caóticas e resilientes. Vidas vividas na intersecção entre biologia, dispositivos, cuidado e adaptação.

Este percurso levou-me por entre objetos simples e territórios inesperados: uma chávena de café, uma cenoura biológica, um semáforo na estrada da ética, anticorpos, testes à COVID-19, cravos da liberdade, uma camisola de malha, *microchips* e *wafers* que não são exatamente bolachas. Do mundano ao microscópico, do poético ao infraestrutural. A vida nunca é aborrecida, certo? A ciência, especialmente quando se torna próxima, raramente o é.

O meu processo foi lento e poroso. Li várias entradas de texto e comeci a rabiscar nas margens vazias da página, deixando que as palavras fluíssem para a mão. Os primeiros desenhos não foram planeados; surgiram quase por acidente — como se o pensamento pudesse, por instantes, contornar a linguagem. Deixei-os repousar. Mais tarde, voltei àqueles que permaneciam: os esboços que tinha vontade de desenhar outra vez e que pediam que ficasse com eles um pouco mais. A partir daí, nasceram desenhos mais intencionais e, sem dar por isso, estava a trabalhar em várias ilustrações em simultâneo. Algumas resolveram-se depressa; outras resistiram e fizeram-me

voltar a insistir, a escutar, até se deixarem concluir. Não é o meu ritmo habitual — gosto de desenhar de uma só vez — mas estas imagens pediam tempo.

Este processo foi mais fluido graças à minha formação em ciência. Pude regressar a conceitos conhecidos e, ao mesmo tempo, aprender muitos outros ao longo do caminho. Como mente curiosa, isso é algo que me dá um prazer genuíno. O Bioassembler tornou-se assim uma combinação rara de essência *nerd* e liberdade criativa: ler, investigar, questionar e traduzir; não pela clareza absoluta, mas, principalmente, pela sensação.

Esta abordagem está profundamente enraizada no meu trabalho na intersecção entre arte e ciência. Para além da ilustração, que continua a ocupar um lugar central na minha prática, o meu percurso passou, por muito tempo, pela comunicação de ciência e pela criação de exposições científicas — espaços onde o desafio não é apenas informar, mas criar uma conexão. Tornar a ciência próxima, tangível, capaz de provocar emoções. Interessa-me a forma como o conhecimento científico pode ser vivido, mais do que consumido; como pode despertar curiosidade, atenção, desconforto ou deslumbramento.

No fim, espero que estas ilustrações causem uma de duas coisas: o esboçar de um sorriso ou o despertar da vontade de saber mais. Olhar de forma atenta para mulheres incríveis como Henrietta Lacks, cujas células também alteraram o curso da história da medicina, ou para uma tua amiga “aleatória” com diabetes tipo 1, que navega silenciosamente um mundo de sensores e sinais, também ela uma espécie de super-heroína. Estes desenhos são um convite a reparar, a sentir e a cultivar a curiosidade.

Inês Montalvão

Um primeiro vislumbre: porquê este livro?

Todos os projetos de investigação começam com perguntas. E se pudéssemos integrar a montagem bioinspirada na fabricação de semicondutores e criar uma nova geração de biossensores? Como poderiam essas inovações transformar a produção de biossensores multiplex sem rótulo à base de silício? E que papel poderiam desempenhar na resolução dos atuais desafios sociais e económicos urgentes, desde a saúde e a segurança alimentar até às alterações climáticas e à conservação dos recursos naturais?

Estas foram as perguntas que inspiraram o projeto BIOASSEMBLER.

Agora, pode estar a pensar: *Biossensores? O que são exatamente?*

A verdade é que provavelmente já os utiliza ou, pelo menos, já os viu. Pense nos medidores de glicose, nos testes rápidos para a COVID-19, nos testes de gravidez. Pode não lhes ter chamado «biossensores», mas muitos de nós confiamos neles para obter informações importantes sobre a saúde e a vida.

Apresentando um biossensor

Um biossensor é uma ferramenta para detetar diferentes substâncias usando um componente biológico - é um «sensor biológico». E não precisamos ir muito longe para compreender o que é ou o que faz um sensor. O nosso nariz e língua estão equipados com células nervosas que atuam como sensores. Quando mordemos um limão, podemos sentir o sabor azedo na nossa língua e detetar o cheiro característico do limão, gerado por compostos como limoneno, linalol e citral.

Assim como nós, seres humanos, podemos detetar odores e sabores, os sensores respondem a estímulos, como calor, luz ou pressão, e geram sinais que podem ser medidos e interpretados. Os biossensores funcionam de maneira semelhante. Esses dispositivos podem detetar uma ampla gama de substâncias, como proteínas, patógenos e toxinas, a partir de amostras como sangue, saliva ou água.

Um biossensor é composto por dois componentes principais: um elemento biológico, também chamado de biorrecetor, como uma enzima ou anticorpo; e um transdutor, um dispositivo eletrónico que transforma uma forma de energia noutra. Um microfone é um tipo de transdutor. Ele transforma ondas sonoras em sinais elétricos. Essa corrente elétrica pode então ser amplificada, aumentando o volume do som. No caso dos biossensores, os transdutores convertem eventos biológicos em sinais elétricos que podem ser interpretados por uma pessoa ou por um computador. O biorrecetor reconhece e interage com a substância a ser detetada, chamada de analito alvo. Essa interação é um evento biológico, que pode assumir a forma de uma mudança no brilho do elemento biológico ou uma alteração na massa. Isso gera um sinal que o transdutor converte num resultado mensurável.

Vejamos um caso clássico: um biossensor utilizado para monitorizar os níveis de glicose.

Neste contexto, o biorrecetor (uma enzima) interage com a glicose

(o analito alvo) numa amostra de sangue. Esta reação produz um sinal eletroquímico que pode ser medido, interpretado e utilizado. Embora a maioria dos biossensores de monitorização da glicose sejam eletroquímicos, existem outros tipos de biossensores, cada um com vantagens e limitações que dependem do analito alvo, da aplicação e do contexto em que podem ser utilizados.

Olhando para o futuro, os biossensores oferecem possibilidades significativas em muitos campos. Na área da saúde, permitem diagnósticos rápidos, monitorização contínua de doenças crónicas e medicina personalizada, muitas vezes fora dos contextos clínicos tradicionais. Na monitorização ambiental e na segurança alimentar, os biossensores podem fornecer deteção precoce de contaminantes, agentes patogénicos ou poluentes, ajudando a prevenir surtos e a reduzir os danos ambientais. Os avanços na ciência dos materiais, nanotecnologia e processamento de dados também estão a expandir a sensibilidade, velocidade e portabilidade dos biossensores, tornando-os cada vez mais acessíveis e versáteis.

Apesar dessas oportunidades, ainda existem desafios importantes tanto no uso quanto na fabricação de biossensores. Garantir a estabilidade, precisão e seletividade a longo prazo dos componentes biológicos pode ser difícil, especialmente quando os dispositivos são usados em amostras complexas do mundo real. Fabricar biossensores em grande escala, mantendo a qualidade consistente e os custos baixos, é outro grande desafio, principalmente porque os elementos biológicos podem ser sensíveis à temperatura, humidade e condições de armazenamento. Superar essas limitações é essencial para transformar protótipos de laboratório em tecnologias confiáveis e amplamente utilizadas.

Apresentando o projeto BIOASSEMBLER

O projeto BIOASSEMBLER propôs-se a ampliar ainda mais as possibilidades desses dispositivos familiares e a superar alguns dos desafios para a sua produção. Em termos simples, o seu objetivo era desenvolver uma nova forma de fabricar biossensores capazes de detetar várias moléculas biológicas ao mesmo tempo. Isso é conhecido como biodeteção multiplex e abre as portas para sensores muito mais potentes e informativos do que os disponíveis atualmente.

Para entender a importância do BIOASSEMBLER, vale a pena observar os sensores dos quais já dependemos. Muitas tecnologias do dia a dia utilizam dispositivos minúsculos chamados MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems*, ou Sistemas Microeletromecânicos). Esses sensores permitem que o ecrã do nosso *smartphone* saiba a sua orientação ou que o *airbag* do carro seja acionado no momento certo. Os dispositivos MEMS são construídos em bolachas (*wafers*) de silício utilizando processos de fabrico extremamente precisos e dispendiosos, que ocorrem em ambientes ultra-limpas e requerem especialistas altamente qualificados. Este modelo funciona muito bem para sensores tradicionais, mas torna-se um grande obstáculo quando tentamos combinar a tecnologia MEMS com a biologia.

Os biossensores têm um enorme potencial. E se esses minúsculos dispositivos pudessem detetar vários marcadores biológicos ao mesmo tempo, o seu valor aumentaria drasticamente. No entanto, transformar essa visão em realidade não é tarefa fácil. A principal dificuldade reside na integração de delicadas moléculas biológicas em elementos sensores de silício extremamente pequenos. Esses elementos têm frequentemente apenas uma fração de milímetro de largura, o que torna o posicionamento preciso incrivelmente desafiante.

O problema torna-se ainda mais complexo quando diferentes biomoléculas devem ser posicionadas lado a lado sem se misturarem e quando esse processo precisa ser repetido milhares ou até milhões de vezes para permitir a produção em massa a um custo acessível. As abordagens existentes enfrentam dificuldades nessa escala e precisão e podem danificar biomoléculas sensíveis no processo.

É aqui que o BIOASSEMBLER apresenta uma nova abordagem.

O projeto combinou dois campos avançados: química fotolitográfica e nanobiotecnologia. Desenvolveu tecnologias de fabrico biointeligentes que permitem colocar biomoléculas com precisão em *wafers* utilizando um processo rápido, escalável e inteligente - algo que até agora não era possível. A ambição não era apenas criar uma nova geração de biossensores, mas também transformar a fabricação de semicondutores, fortalecer a liderança europeia em bioeletrónica e abrir novas oportunidades para a investigação, os negócios e o trabalho.

Mas o BIOASSEMBLER foi sempre mais do que tecnologia. O projeto nasceu de um diálogo que junta biologia e eletrónica, ciência e sociedade, investigação e arte. E, por isso, também explorou questões sociais, éticas e ambientais. Investigadoras e investigadores de áreas disciplinares muito diferentes, como engenharia, ciências naturais, ciências sociais e humanas, trabalharam juntos para questionar: quem beneficia com estes dispositivos? Como irão afetar a vida quotidiana, as políticas e a indústria? Que responsabilidades advêm das novas tecnologias?

Então... porquê este livro?

Este livro surgiu de uma convicção coletiva: a ciência não existe separada da sociedade. A ciência estabelece uma ligação com as pessoas não só através de dados e resultados, mas também através da confiança, da transparência e de valores partilhados. A forma como a ciência é comunicada molda a forma como o conhecimento é compreendido, questionado e valorizado: quem é convidado para a conversa e como é feito esse convite? Esta publicação surge desse espírito de colaboração e envolvimento.

O livro apresenta 50 entradas curtas e ilustradas que podem ser lidas de forma independente e em qualquer ordem. Em vez de seguir uma narrativa linear única, cada texto oferece um resumo conciso das ideias, desafios e/ou reflexões do projeto, permitindo que a leitura siga os interesses e a curiosidade

do leitor. Ao longo do texto, irá encontrar palavras em negrito — indicam tópicos que são abordados numa entrada separada. Se encontrou muitas palavras desconhecidas no texto acima, que descreve o projeto BIOASSEMBLER, ficará satisfeito por saber que pode encontrar uma explicação simplificada para cada uma delas nessas entradas.

Os temas destas entradas não foram definidos de forma isolada. Eles surgiram através de um diálogo social: uma troca contínua entre membros da equipa de diferentes disciplinas, instituições externas e cidadãos, incluindo adolescentes e jovens adultos. As suas perguntas, preocupações e perspetivas tiveram um papel central na definição do conteúdo do livro, ajudando a garantir que ele refletisse não apenas as prioridades científicas, mas também a relevância social e a experiência vivida. Esta abordagem participativa também orientou a escolha do título do livro, através de uma consulta em que os participantes selecionaram a opção que consideraram mais atraente - aquela que os faria querer ler o livro.

Todos os textos foram revistos por especialistas para garantir a precisão, mantendo-se acessíveis a leitores não especialistas. Além dos aspetos técnicos do desenvolvimento de biossensores, o livro explora dimensões sociais, éticas e ambientais mais amplas da biotecnologia. Para apoiar esta experiência de leitura modular e flexível, os conceitos-chave são destacados e abordados como textos independentes, e o conteúdo está organizado em quatro secções que seguem um percurso de descoberta, desde uma introdução aos biossensores até às suas aplicações no mundo real e às implicações mais amplas da inovação biotecnológica.

No centro desta abordagem está a convicção de que a simples apresentação de mais factos não é suficiente para criar confiança na ciência. Um envolvimento significativo depende também da ligação emocional, do contexto cultural e do sentimento de se ser incluído e não instruído. Por esta razão, a colaboração entre a ciência e a arte não é aqui tratada como um complemento, mas como um elemento central da comunicação.

As ilustrações de Inês Montalvão e o design gráfico de Joana Monteiro assumem um papel central neste processo. Em vez de funcionarem como diagramas científicos, as ilustrações oferecem interpretações imaginativas de ideias científicas. Juntamente com a composição gráfica do texto e da imagem, criam narrativas visuais que tornam conceitos complexos mais acessíveis, envolventes e memoráveis.

Ao utilizar uma abordagem baseada na arte, o livro vai além das e dos leitores que já se sentem à vontade com temas científicos, convidando aqueles que inicialmente podem não se considerar interessados em biossensores ou biotecnologia. Ao mesmo tempo, as interpretações visuais têm como objetivo provocar e desafiar as e os leitores que já estão familiarizados com o assunto e especialistas, incentivando-os a ver conceitos bem conhecidos de ângulos inesperados e a refletir sobre o seu trabalho de novas maneiras.

Textos e ilustrações unem-se numa montagem: uma convergência de

ideias, disciplinas, vozes e pontos de vista que reflete a natureza colaborativa do próprio projeto BIOASSEMBLER. Esta noção de montagem também se liga à performance *BioAssemblage*, criada durante a residência artística BIOASSEMBLER pela artista contemporânea Andrea Inocêncio, que tornou visíveis os ritmos ocultos do trabalho de laboratório e convidou o público a experimentar a interação entre biomoléculas, sensores e criatividade humana.

Além de documentar o projeto, o livro tem uma ambição educativa mais ampla. Concebido tendo em mente escolas, universidades e estudantes de diferentes idades, os seus textos curtos e independentes e a narrativa visual têm como objetivo despertar a curiosidade, incentivar a reflexão e convidar ao pensamento crítico sobre o papel da ciência e da tecnologia na sociedade. Reflete uma visão da comunicação como um processo participativo, no qual tanto cientistas como cidadãos contribuem para moldar a compreensão e o significado.

Resta um convite: continuar esta conversa explorando a banda desenhada do BIOASSEMBLER, *Uma viagem ilustrada pela descoberta científica — o projeto BIOASSEMBLER*. Ilustrado por André Caetano, este livro oferece uma visão dos bastidores da investigação científica como um esforço colaborativo, imaginativo e humano.

Rita Campos

Coordenadora da Comunicação do BIOASSEMBLER

REVISÃO CIENTÍFICA

O rigor científico dos textos deve-se à revisão cuidadosa e dedicada realizada por membros do projeto BIOASSEMBLER e pelo consultor de ética do projeto.

Por ordem alfabética, são:

Anna Spehar
Bernardo Valente
Emilia Barannik
Esther Wenzel
Filipe Santos
Gisela Ibañez
Hugo Pinto
Jan Terbrack
Joana Sousa
Joel Janhonen
Laila Al-Halabi-Frenzel
Mathias Reisbeck
Petri Saviranta

AGRADECIMENTOS

Queremos agradecer a todas as pessoas que dedicaram o seu tempo para partilhar connosco os seus conhecimentos, experiências, perspetivas e dúvidas sobre biossensores, através de entrevistas online ou presenciais, conversas estruturadas (*grupos focais*) ou diálogos informais, ajudando a identificar temas que podem ser do interesse de um público mais amplo. Também gostaríamos de agradecer às e aos jovens que ajudaram a escolher o título do livro.

Um agradecimento especial à Bianca Brito, que fez parte da equipa do BIOASSEMBLER, por ter elaborado as primeiras entradas do livro e ajudado a orientar a conversa com os estudantes.

ÍNDICE

1. Visão geral O MANUAL BÁSICO ESSENCIAL

A biodeteção está à nossa volta	20	Amostra	40
Origens dos biossensores	22	Analito	42
Quantificação	24	Biomarcador	44
Sensores MEMS	26	Escala	46
Biossensores MEMS (ou BioMEMS)	28	<i>Lab-on-a-chip</i> (Laboratório-num-chip)	48
Biotecnologia	30	<i>X-on-a-chip</i>	50
Uma visão crítica sobre a biotecnologia	32	Anticorpos	52
Tecnologia bioinspirada	34	Anticorpos recombinantes	54
Fabricação biointeligente	36	Tecnologia de ADN recombinante (ADNr)	56
		Anticorpos em biossensores	58
		Linhas celulares	60
		Biblioteca de anticorpos	62
		ADN <i>zip code</i>	64
		<i>Wafer</i> (Bolacha)	66
		<i>Sensor array</i>	68
		Microrressonadores acústicos	70
		Salas limpas	72
		Fotolitografia	74
		Síntese fotolitográfica de ADN	76
		Automontagem guiada por ADN sintético	78
		Biofuncionalização	80
		Deposição de filme fino	82
		Microfluídica	84

2. Componentes principais CONSTRUÇÃO DE UM BIOSENSOR

3. Aplicações BIOSENSORES NO MUNDO REAL

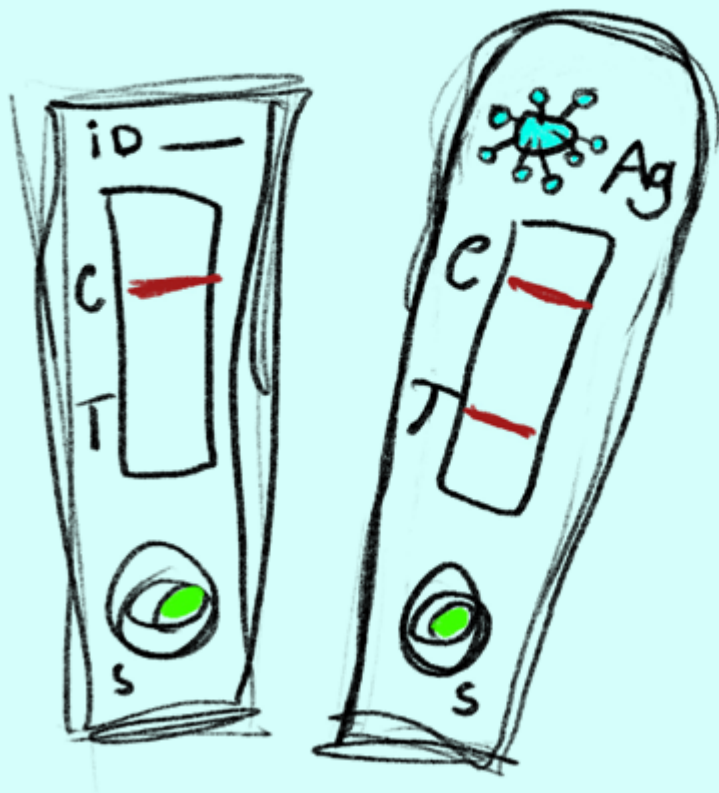
<i>Point-of-need, point-of-use e point-of-care</i>	88
Biossensores para a saúde	90
Saúde	92
Alimentação	94
Ambiente	96
Ciências Forenses	98

4. Colaboração CONHECIMENTO, ÉTICA E SOCIEDADE

Consórcio	102
Ciências Sociais e Humanas (CSH)	104
Sustentabilidade	106
Ética e Integridade na Investigação	108
Bioética	110
Ciência Aberta	112
Comunicação de Ciência	114
Ciência Cidadã	116
Dados e privacidade	118
Parcerias	120
Propriedade Intelectual	122
Transferência de Conhecimento	124

1. Visão geral

**O MANUAL
BÁSICO
ESSENCIAL**



A BIODETEÇÃO ESTÁ À NOSSA VOLTA

Esperamos poder vir a comprar alimentos livres de contaminantes e agentes patogénicos nocivos.

Temos de ter a certeza de que a água que consumimos foi testada quanto à presença de poluentes.

Queremos acompanhar regularmente o impacto do treino físico no nosso corpo.

As tecnologias de biodeteção existem e estão a ser aperfeiçoadas para cada uma dessas necessidades e desejos.

Como ferramentas para detetar substâncias como proteínas, agentes patogénicos e toxinas, os biossensores são usados em diversos campos: diagnósticos médicos, segurança **alimentar**, agricultura, **monitorização ambiental**, **Ciências Forenses** e muito mais. Também estão a ser desenvolvidos para a monitorização em tempo real ou contínua de **biomarcadores** de doenças, com o objetivo de possibilitar diagnósticos precoces e tratamentos médicos personalizados.

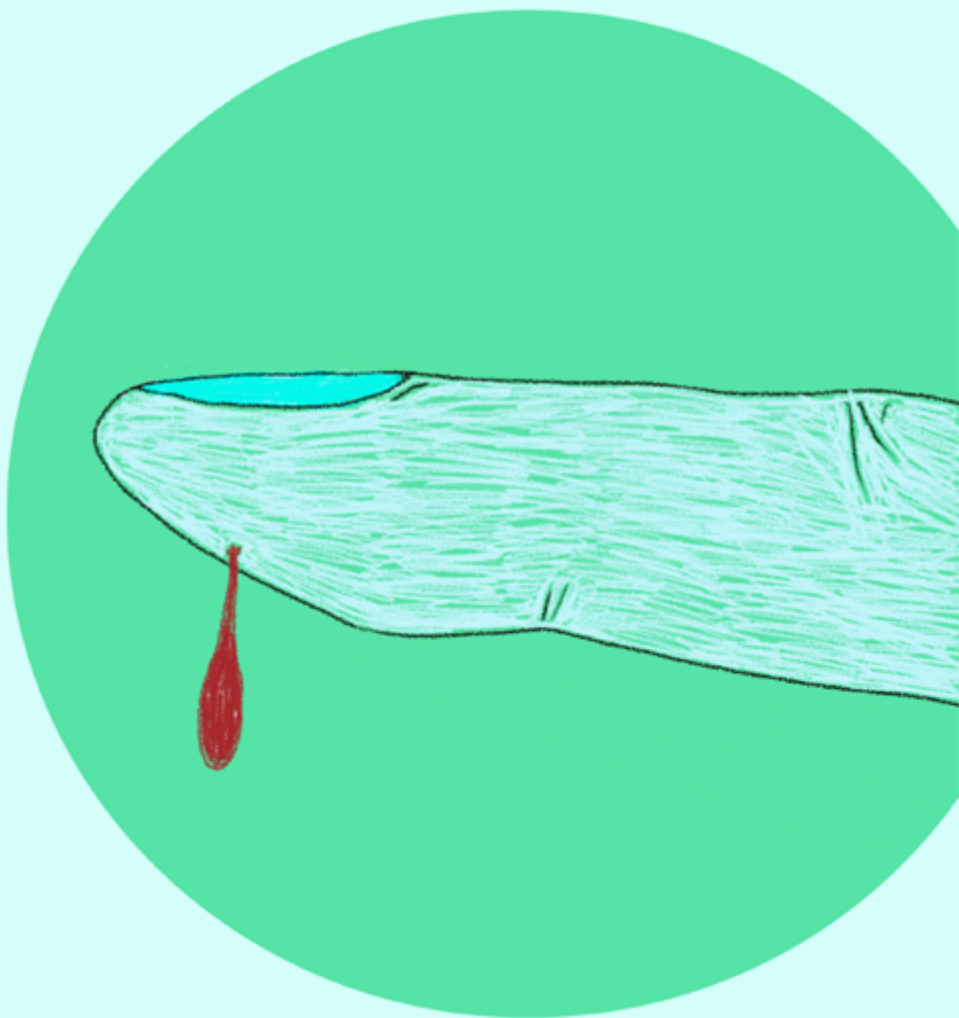
Os biossensores são amplamente utilizados e são cada vez mais inovadores porque os seus métodos de deteção são rápidos, precisos e económicos.

No entanto, para detetar com precisão substâncias em amostras biológicas complexas, os biossensores devem ser altamente sensíveis, estáveis e construídos em condições muito específicas.

Pacientes, utilizadores, cientistas e técnicos confiam no desempenho dos biossensores no contexto de atividades comuns e para diagnósticos que podem ter um impacto profundo nas nossas vidas. Se já ficou a olhar para um teste de gravidez rezando por uma (ou duas) riscas, sabe do que estamos a falar. Sim, quanto mais precisão, melhor.

Muitas e muitos investigadores têm trabalhado continuamente para melhorar os biossensores, desenvolvendo novos materiais, revestimentos e métodos de deteção. No vasto mundo da **biotecnologia**, a biodeteção é uma área multidisciplinar empolgante de investigação e inovação. À medida que mais biossensores chegam ao mercado, é importante compreendermos como funcionam, e quais são as suas vantagens e limitações.

Quanto mais os biossensores evoluem, mais utilizações podem surgir. Consegue pensar noutras áreas que possam beneficiar dos biossensores? Consegue imaginar riscos, impactos negativos ou preocupações sociais e políticas que os biossensores possam suscitar?



ORIGENS DOS BIOSSENSORES

Os biossensores já existem há bastante tempo. O primeiro exemplo conhecido foi o eletrodo enzimático criado em 1962 pelo bioquímico americano Leland Clark, uma figura importante na área de biossensores.

Para contar esta história é preciso voltar a 1956, quando Clark projetou um eletrodo de platina para medir a redução do oxigênio numa solução e determinar a oxigenação do sangue.

Um eletrodo atua como um condutor que transfere ou apanha elétrons. No dispositivo de Clark, o eletrodo de platina facilitava uma reação química na qual as moléculas de oxigênio ganhavam elétrons, tornando-se reduzidas e convertidas em água. Ao observar o fluxo de elétrons resultante, Clark podia medir a extensão da redução de oxigênio e determinar indiretamente a concentração de oxigênio. No entanto, este instrumento ainda não era um verdadeiro biossensor, pois faltava-lhe um componente biológico. Vários anos depois, Clark adicionou esse componente: uma enzima chamada glicose oxidase.

As enzimas são substâncias produzidas por organismos vivos que atuam como catalisadores, convertendo uma substância noutra.

Com a adição da enzima, o sensor de oxigênio passou a ser capaz de medir indiretamente os níveis de glicose numa **amostra**. O dispositivo aprimorado, lançado em 1962, ficou conhecido como «eletrodo enzimático».

E assim nasceu o primeiro dispositivo capaz de medir rapidamente a glicose no sangue!

Essa invenção marcou um ponto de viragem no diagnóstico médico, abrindo caminho para a monitorização moderna da glicose e muitas outras tecnologias de biodeteção utilizadas atualmente na área da saúde.

Desde então, os biossensores evoluíram muito. O trabalho de muitos e muitas investigadoras de diferentes áreas científicas levou à incorporação de outros elementos biológicos, como **anticorpos**, e ao uso de novos materiais e métodos de produção inovadores. Hoje, os biossensores podem detetar diversas substâncias e desempenham um papel importante na medicina, na investigação e na monitorização quotidiana da **saúde**.

QUANTIFICAÇÃO

À primeira vista, a quantificação é simples: é a medição de algo expresso em números. Algumas coisas prestam-se facilmente à quantificação: quantas maçãs temos no saco? Será que a minha mala pesa menos de 23 kg?

Em contrapartida, muitos fenómenos centrais à experiência humana não são tão fáceis de quantificar, incluindo a percepção da dor, do calor extremo, da felicidade ou mesmo do tempo. As pessoas desenvolveram inúmeras ferramentas para quantificar essas experiências, com sucesso variável.

Alguma vez lhe pediram para classificar uma chamada de atendimento ao cliente com 5 estrelas? Na sua última consulta médica, classificou a sua dor numa escala de 0 a 10? Ou talvez tenha lido o Relatório Mundial da Felicidade, que classifica os países de acordo com avaliações de vida e emoções. Estes exemplos de quantificação visam orientar melhorias nos serviços, tratamentos ou mesmo na qualidade de vida, mas só conseguem captar parcialmente a experiência em questão.

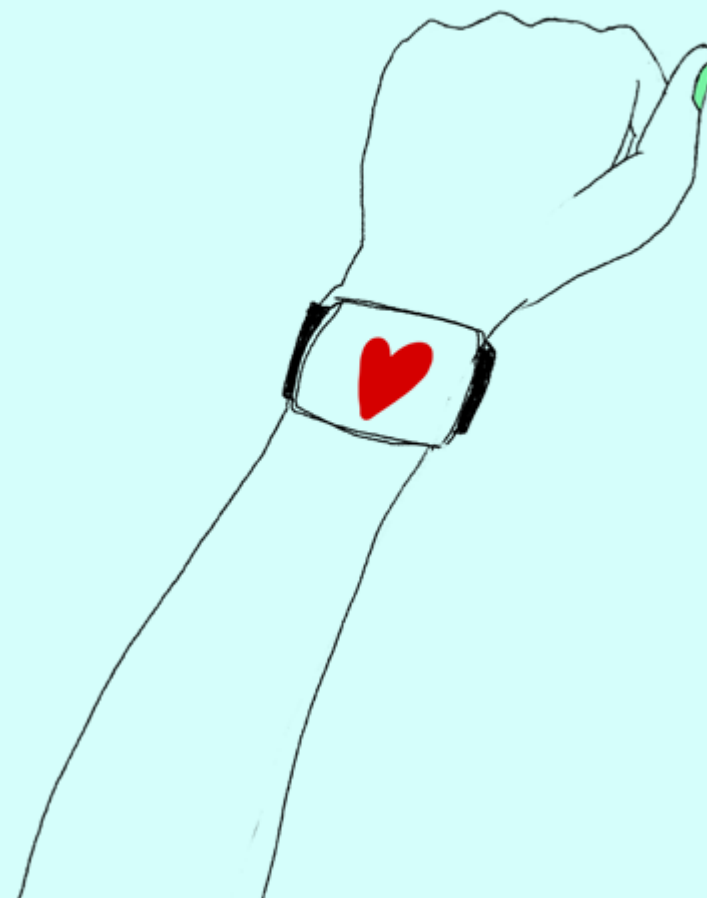
A quantificação é incrivelmente comum no século XXI, em parte devido aos *smartphones* e outros dispositivos de rastreamento que proliferam nas nossas vidas diárias. Os biossensores são uma dessas ferramentas que oferecem novas maneiras de quantificar **biomarcadores** em humanos e outros organismos. E fazem-no até no meio ambiente, rastreando poluentes ou toxinas que podem estar presentes na água, no solo ou no ar.

Considere o lactato, um subproduto do metabolismo humano que o fígado remove do sangue. Atletas de elite, treinadores e investigadores em medicina desportiva estão cada vez mais interessados no lactato como sinal de fadiga muscular. Usando biossensores de lactato, agora é possível medir os níveis de lactato no sangue continuamente, fornecendo informações sobre como o corpo responde ao exercício em tempo real. Mas isso levanta questões: quanto lactato é considerado excessivo, durante quanto tempo e em que condições? Estabelecer limites seguros e significativos para biomarcadores como o lactato é um processo longo, que requer experiências, evidências e a criação de um consenso.

Este tipo de quantificação traz benefícios. Por exemplo, os treinadores podem usar dados de lactato para elaborar programas de treino individualizados para atletas - já deve ter visto atletas de alto rendimento usando biossensores em coletes para monitorizar o seu desempenho.

Da mesma forma, os biossensores que se podem vestir ou usar (também conhecidos como biossensores *wearable*) estão a tornar-se amplamente utilizados para a monitorização da saúde pessoal. Estes dispositivos monitorizam sinais vitais e detetam alterações na glicose, frequência cardíaca e temperatura corporal, ajudando as pessoas a gerir a sua saúde e a prevenir problemas médicos em tempo real, a qualquer hora e em qualquer lugar. Ao mesmo tempo, a auto-medição contínua acarreta riscos, incluindo riscos psicológicos.

Como a quantificação e a auto-medição moldam a maneira como compreendemos e navegamos pelas nossas próprias experiências, desde o acompanhamento da saúde ou da forma física até à avaliação de emoções ou de tomadas de decisão? Quais são alguns dos benefícios e limitações dessas práticas?



SENSORES MEMS

Os sensores microeletromecânicos (MEMS) são nossos companheiros diários, escondidos dentro de muitos dispositivos eletrônicos. De *smartphones* a carros, monitores de fitness a *smartwatches* e inúmeros dispositivos da «Internet das Coisas» (ou IoT, do inglês *Internet of Things*), os sensores MEMS trabalham nos bastidores para tornar essas tecnologias possíveis. São componentes pequenos, mas essenciais na tecnologia que usamos todos os dias. Sem eles, muitos dispositivos e sistemas dos quais dependemos não funcionariam como funcionam.

Estes minúsculos sensores, menores do que um fio de cabelo, detetam até mesmo as menores mudanças ao seu redor. Convertem variações mecânicas, térmicas e outras variações de energia em sinais elétricos. Isto permite que os dispositivos respondam a movimentos, pressão, temperatura, som e muito mais. Os sensores MEMS alimentam continuamente os sistemas de controle com dados, que usam essas informações para tomar as medidas adequadas.

Por exemplo, em carros novos, os sensores MEMS monitorizam a pressão dos pneus, a qualidade do ar, a aceleração, a rotação e outros fatores importantes. Em veículos com sistemas avançados de assistência ao condutor, são essenciais para a segurança e a automação. Da mesma forma, os dispositivos que se podem vestir ou usar dependem de sensores MEMS para monitorizar a atividade física, como a velocidade a que alguém corre ou o ângulo dos seus movimentos.

Não conduz? Não tem tecnologia que se podem vestir ou usar? Provavelmente está familiarizado com dispositivos que contêm alguns destes outros sensores MEMS, pois encontram-se em muitos dispositivos do quotidiano, ajudando-os a funcionar de maneira inteligente e precisa.

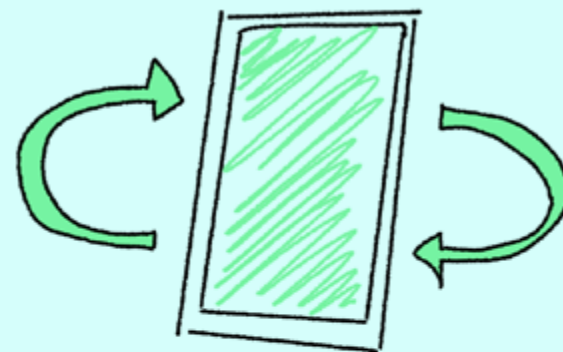
Os acelerómetros detetam movimentos e alterações de velocidade, permitindo funcionalidades como o acionamento do *airbag* e a rotação de ecrã nos *smartphones*. Os giroscópios medem a rotação, tornando-os essenciais para controladores de jogos e estabilidade de *drones*. Os sensores de pressão monitorizam a pressão do ar ou de fluidos, garantindo a segurança em sistemas de monitorização da pressão dos pneus e a precisão em instrumentos meteorológicos. Os sensores de temperatura ajudam a regular termóstatos e frigoríficos, bem como dispositivos que se podem vestir ou usar. Os microfones convertem o som em sinais elétricos, permitindo que *smartphones* e aparelhos auditivos captem áudio. Os sensores químicos detetam gases e produtos químicos, melhorando a monitorização da qualidade do ar. Os microespelhos óticos manipulam a luz, desempenhando um papel fundamental em projetores e imagens médicas. Os sensores magnéticos medem campos magnéticos, fornecendo direção em bússolas

e aumentando a segurança em sistemas de travagem antibloqueio. Por fim, as unidades de medição inercial combinam vários sensores para rastrear o movimento e a orientação, tornando-as essenciais para auscultadores de realidade virtual e monitores de *fitness*.

Mas como são fabricados? Os sensores MEMS são gravados em wafers de silício em salas limpas altamente especializadas, utilizando técnicas semelhantes às utilizadas na fabricação de *microchips*. Dada a grande diversidade de aplicações, cada tipo de sensor requer ferramentas e processos precisos, tornando a sua produção complexa e especializada, mas económica.

Devido ao tamanho reduzido de um único sensor, é possível fabricar muitos sensores a partir de um único *wafér* de silício.

Estes sensores são tão importantes que agora estão a ser explorados para aplicações de biodeteção, como monitorização de saúde em tempo real. Frequentemente chamados de bioMEMS, estes minúsculos sensores são capazes de analisar pequenas gotículas de saliva, sangue ou urina, atuando como laboratórios de diagnóstico em miniatura para uso pessoal e médico.



BIOSENSORES MEMS (OU BIOMEMS)

Os biossensores MEMS, também conhecidos como bioMEMS, são dispositivos minúsculos que combinam sensores microeletromecânicos com elementos biológicos, como anticorpos, para criar ferramentas capazes de detetar marcadores biológicos específicos. Os e as cientistas ainda estão a fazer experiências com esta tecnologia para aproveitar ao máximo o seu potencial.

Um projeto que visou avançar neste campo é o consórcio BIOASSEMBLER, financiado pelo programa Horizonte Europa. Esta equipa de investigadores internacionais trabalhou em novas formas de tornar os biossensores MEMS uma realidade. E queriam ir ainda mais longe e desenvolver um biossensor multiplex, capaz de detetar simultaneamente vários biomarcadores!

Mas o que torna isto tão desafiante?

Primeiro, os sensores MEMS são incrivelmente pequenos. São tão finos quanto uma folha de papel, com cerca de 100 a 200 micrómetros de espessura. A fabricação nessa escala requer máquinas altamente precisas e microscópios potentes.

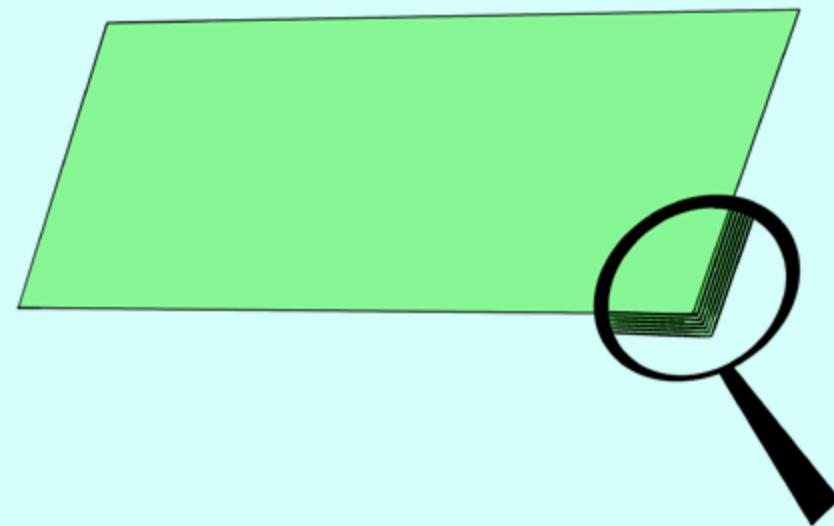
Segundo, colocar **anticorpos em biossensores** é complicado. Esses elementos biológicos têm de permanecer exatamente no sítio onde são colocados nos minúsculos elementos sensores. Se se deslocarem para uma área errada ou interagirem com elementos indesejados, o biossensor não funcionará corretamente. Como um único **wafer** de silício pode conter milhares de *chips* com dezenas de milhares de sensores individuais, a precisão é fundamental.

Em terceiro lugar, os biossensores devem funcionar de forma consistente. Para que sejam comercialmente viáveis, o seu desempenho deve ser confiável e idêntico em todos os lotes. Alcançar esse nível de reprodutibilidade é um grande desafio.

Por fim, o processo de fabricação é caro. Ao longo dos anos, os *wafers* de silício tornaram-se maiores e os *microchips* menores, permitindo que milhares de *chips* coubessem num único *wafer* de 30 cm. A alta densidade de *chips* é necessária para manter os custos baixos, mas também adiciona complexidade ao processo de fabricação.

Uma solução possível para colocar anticorpos em sensores MEMS é a impressão de ADN, chamada **síntese fotolitográfica de ADN**. Embora já sejam utilizadas impressoras a jato de tinta de grande porte para criar ecrãs de TV OLED, imprimir moléculas biológicas como anticorpos é muito mais difícil. Essas moléculas têm requisitos únicos e não existe uma “tinta” universal que funcione para todas as situações.

Os e as investigadoras ainda estão a trabalhar para encontrar maneiras de superar estes desafios. Se forem bem-sucedidos, os biossensores MEMS multiplex poderão abrir novas possibilidades para monitorização da saúde e do ambiente, diagnósticos e muito mais!



BIOTECNOLOGIA

Apesar de ser um termo bem conhecido, a biotecnologia não tem uma definição fácil. Pode ser explicada como o uso de sistemas vivos ou moléculas biológicas para desenvolver novas tecnologias. Na maioria das vezes, está associada à engenharia genética, organismos geneticamente modificados (OGM), como culturas agrícolas e novos medicamentos. A insulina sintética e as vacinas de mRNA (como algumas das vacinas contra a COVID-19) são dois exemplos notáveis de produtos biotecnológicos comuns.

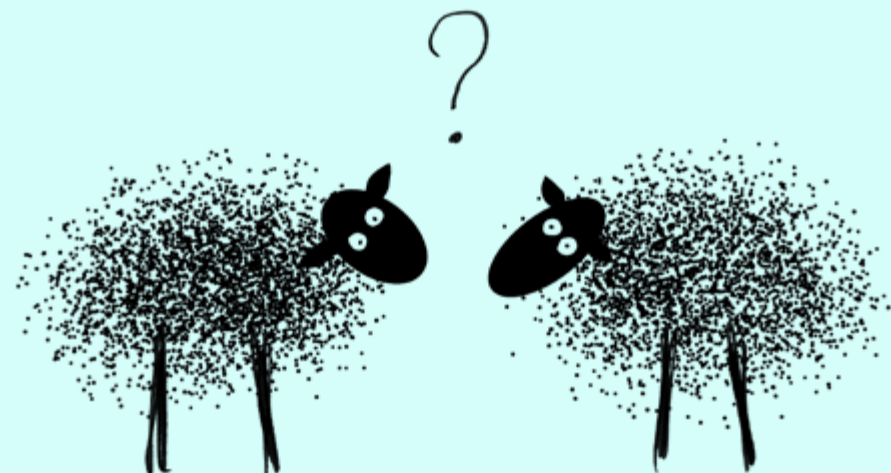
Desde a década de 1970 e ao longo da de 1980, a biotecnologia era amplamente sinónimo de tecnologia de **ADN recombinante**. Isso mudou ao longo da década de 1990 e início da década de 2000, à medida que novos desenvolvimentos na pesquisa com células estaminais, projetos de investigação internacionais altamente divulgados, como o Projeto Genoma Humano (1990-2003) e a clonagem da ovelha Dolly (1997), ampliaram as ideias e o debate público em torno das definições e da ética da biotecnologia. Uma definição ampliada de biotecnologia é, portanto, o uso de organismos vivos (células, bactérias, fungos, etc.) para criar ou modificar produtos ou tecnologias. Isto inclui a tecnologia de ponta para a edição de genes CRISPR, bem como tecnologias antigas, como a fermentação — *tchim-tchim! Cheers!*

Considerando a inovação em biossensores, o projeto BIO-ASSEMBLER propôs aplicar a biotecnologia em nanoescala para revolucionar a forma como os *chips* de computador são fabricados, combinando a nanobiotecnologia com a química fotolitográfica, um método já utilizado na fabricação de *chips*. Explorou as sinergias entre a nanotecnologia e a biotecnologia nos métodos de produção, nomeadamente combinando a biotecnologia com sensores MEMS num novo processo de automontagem bioinspirada. Através desta inovação, poderá ser possível depositar dezenas de biomoléculas diferentes simultaneamente em milhares de posições exatas e predeterminadas num *wafer* de silício!

Em conjunto, a fusão da biotecnologia e da nanotecnologia abre novos caminhos para tecnologias de produção inovadoras e sustentáveis. Isto pode potencialmente remodelar a indústria dos semicondutores, reforçar a liderança europeia em inovação e gerar novas oportunidades de negócio e de emprego.

Hoje em dia, a biotecnologia é uma indústria enorme, multidisciplinar e global. É composta por pessoas de todos os tipos: engenheiros, biólogos, bioquímicos, cientistas informáticos, técnicos, advogados, empresários e vendedores, comunicadores de ciência, bioeticistas e muitos, muitos mais.

Mas isto não é tudo. Ao contrário de termos simples como **salas limpas**, outros como **bioética** e biotecnologia são complexos, contestados e plurais. Isto significa que podem ter mais do que uma definição ou significado, dependendo de quem os define. Para mais informações, consulte **uma visão crítica sobre a biotecnologia**.



UMA VISÃO CRÍTICA SOBRE A BIOTECNOLOGIA

Pssst, se ainda não o fez, volte e confira primeiro a entrada sobre **biotecnologia**!

As definições e compreensões da biotecnologia variam consoante a pessoa a quem se pergunta. Um grupo de pessoas que passou décadas a tentar compreender a biotecnologia e o que a torna única são as e os académicos interdisciplinares da área de Ciência, Tecnologia e Sociedade, ou STS (do inglês *Science, Technology, and Society*).

Para compreender a biotecnologia, estes especialistas recorrem a teorias como a do biopoder, apresentada pelo historiador e filósofo Michel Foucault em 1976. O biopoder é uma forma de poder político que procura controlar as populações através da gestão e do controlo da biologia, incluindo a reprodução, a saúde e a morte. Alguns estudos de STS argumentaram que o que é único na biotecnologia não é apenas a tecnologia (como a tecnologia do ADN recombinante), mas também as relações comerciais entre cientistas e industriais, a corrida para patentear novas tecnologias e, acima de tudo, a prioridade da engenharia em aumentar o controlo sobre o corpo humano e outras formas de vida.

Mais recentemente, especialistas críticos* propuseram o termo biocapitalismo para descrever um sistema económico baseado na mercantilização da vida (tratando a biologia, incluindo os corpos humanos, como fontes de lucro) e na criação de novos produtos a partir de formas de vida existentes. Enquadrada desta forma, a biotecnologia é o resultado do biocapitalismo. Não se trata de uma única tecnologia, mas de um conjunto de relações comerciais ou económicas organizadas em torno do desenvolvimento de formas de tornar o ADN, as células estaminais, os anticorpos, o sangue, etc., lucrativos ou incorporá-los em novas tecnologias economicamente valiosas.

Embora quem trabalhe na investigação e inovação na área da biotecnologia frequentemente apresente os seus produtos como benéficos (e, de facto, muitos têm sido, basta pensar nas vacinas de mRNA contra a COVID-19), estas relações comerciais, novas tecnologias e produtos patenteados ou protegidos por direitos de propriedade intelectual geram novos desafios e desigualdades. Por exemplo, as patentes de sementes OGM por parte de empresas agrícolas industriais criaram sérios problemas para as pequenas propriedades agrícolas em todo o mundo, incluindo encargos financeiros e legais para o cultivo (ou a acusação de cultivo) dessas culturas controladas.

Ao mesmo tempo que se tornou normal que as universidades públicas tenham uma relação próxima com parceiros industriais, este paradigma surgiu no final da década de 1970, juntamente com os avanços na biotecnologia, e hoje domina o que muitas vezes

é naturalizado como o «cenário da investigação e inovação». Os objetivos dessa relação são, muitas vezes, cocriar conhecimento, aumentar a colaboração e construir instituições dinâmicas que tenham impacto social. No entanto, impulsionadas por interesses comerciais, essas prioridades levantam questões sobre o papel da investigação fundamental (ou básica) e das universidades públicas na sociedade, o acesso público ao conhecimento e à tecnologia, e a relação entre financiamento público e empresas privadas.



*O termo *crítico* na investigação crítica é frequentemente mal interpretado como sinónimo de desaprovação ou apontar falhas. No contexto dos estudos críticos, significa analisar as relações de poder e o seu impacto na produção de conhecimento e na sociedade. Estas, por sua vez, moldam as relações entre as pessoas, algumas das quais exercem grande poder e outras que são exploradas, marginalizadas ou oprimidas. O objetivo da investigação crítica é compreender a sociedade (que está em constante mudança) para transformar o *status quo* através da ação coletiva.

TECNOLOGIA BIOINSPIRADA

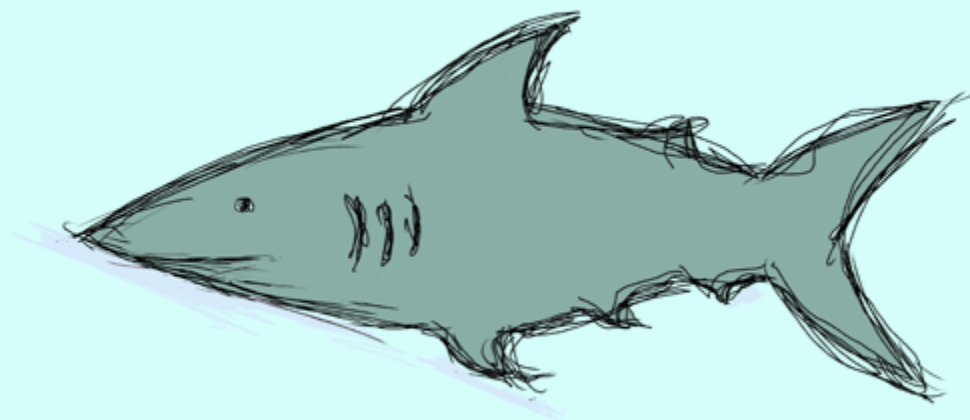
Em termos simples, a tecnologia bioinspirada refere-se a inovações que derivam da biologia. Está intimamente relacionada com a biomimética, que envolve aprender com as formas, estruturas, processos, estratégias e eficiência da natureza para projetar e construir novas tecnologias. Enquanto a biomimética se concentra mais em imitar ou replicar mecanismos biológicos para aplicações técnicas, as abordagens bioinspiradas aplicam os princípios da natureza para projetar novas tecnologias sem as imitar diretamente.

Vejam alguns exemplos:

- O ADN tem uma propensão natural para formar estruturas de cadeia dupla entre sequências complementares de cadeia simples. A tecnologia baseada neste princípio, como um biossensor que utiliza a **automontagem guiada por ADN sintético** para detetar **analitos**-alvo, é uma tecnologia bioinspirada.
- Os tubarões são cobertos por escamas especiais chamadas dentículos dérmicos (“dentes da pele”). A sua microestrutura, padrões e propriedades proporcionam benefícios hidrodinâmicos e proteção contra organismos parasitas. A pele super limpa ajuda os tubarões a nadar muito rápido e impede que algas e cracas se agarrem a eles (ao contrário das baleias e tartarugas marinhas, que ficam com crostas). A criação de superfícies biomiméticas modeladas a partir dos dentículos dérmicos pode ajudar no desenvolvimento de aviões mais aerodinâmicos, fatos de banho mais rápidos, cascos de navios que permanecem livres de cracas e até mesmo superfícies antimicrobianas para uso em hospitais!
- As borboletas têm asas incríveis cobertas por microescamas hidrofóbicas (que repelem a água) e resistentes ao embaciamento. Estas características ajudam as asas a permanecerem limpas. Os e as investigadoras estão a explorar como imitar essas nanoestruturas no vidro para criar um «vidro autolimpante» que permaneça transparente, sem embaciamento e resistente à sujidade.

O desenho bioinspirado e a biomimética são conceitos especialmente proeminentes na nano e microengenharia, no *design* industrial e na arquitetura. No entanto, o desenvolvimento de tecnologia baseada na observação da natureza não é novidade. Dos guarda-chuvas ao velcro (aquele amigo de infância), inúmeras tecnologias, estruturas de edifícios e elementos do dia a dia foram «bioinspirados».

Embora a biomimética e a tecnologia bioinspirada ofereçam inovações atraentes, há algumas precauções e perspectivas a serem consideradas. Assim como noutros processos de fabricação, o entusiasmo ou mesmo a corrida para desenvolver novas tecnologias e produtos biomiméticos e bionspirados têm de ser acompanhados por esforços para proteger a própria vida que é a fonte de inspiração. Atualmente, existem dezenas de espécies de tubarões que estão vulneráveis, em perigo ou criticamente ameaçadas de extinção. O que será um mundo com superfícies semelhantes às dos tubarões, mas com poucos tubarões?



FABRICAÇÃO BIOINTELIGENTE

A fabricação biointeligente, também conhecida como BIM (do inglês *bio-intelligent manufacturing*), é um termo novo que tem vindo a ser utilizado por cientistas da produção, biotecnólogos e nanobiotecnólogos para descrever uma transformação nos métodos e produtos da manufatura industrial. É um neologismo: uma palavra recém-cunhada cuja longevidade ainda está a ser decidida — pelo público, por si!

A fabricação ou manufatura industrial é a produção em grande escala de bens, incluindo mobiliário, brinquedos e peças ou materiais que compõem outros produtos. Como resultado da Revolução Industrial no final do século XVIII e XIX, a fabricação industrial substituiu a produção artesanal em pequena escala. Aquela camisola que a sua avó tricou para si? Isto é produção artesanal. E se ela própria fiou a lã (idealmente com o fio do seu próprio rebanho de ovelhas), isso seria o artesanato na sua forma mais refinada.

Historiadores e tecnólogos dividem a revolução industrial em fases, de acordo com as eras em que predominaram as novas tecnologias e fontes de energia. Por exemplo, a primeira revolução industrial (de aproximadamente 1760 a 1840) foi impulsionada pelo vapor. Já a segunda (da década de 1870 até à Primeira Guerra Mundial) foi impulsionada pelos caminhos-de-ferro, pelo aço e pelo telégrafo. O que veio depois é mais difícil de precisar, mas a conclusão é que a manufatura continua a transformar-se. Novos termos para descrever mudanças em grande escala na produção ajudam a destacar o que mudou e, idealmente, porque é que essas mudanças são importantes.

Eis alguns dos candidatos à terceira (ou quarta? ou quinta?) fase da revolução industrial:

- Um peso pesado na disputa pelo título de Terceira Revolução Industrial é a Era da Informação ou Era Digital. Nascida em 1947, juntamente com o transistor (um pequeno mas poderoso interruptor eletrónico), esta campeã destaca-se por ter revolucionado as comunicações, o armazenamento de informação e nada mais nada menos do que a própria internet.
- Na esperança de um KO para reivindicar o cobiçado título está a peso-leve Indústria 4.0, também conhecida por 4IR, abreviatura de Quarta Revolução Industrial. Um ciborgue do século XXI com passos rápidos, a 4IR traz robótica avançada e inteligência artificial para sistemas globais de fabrico e fornecimento automatizados e conectados.
- E, por último, uma novidade promissora: a nossa própria Fabricação Biointeligente! A BIM pretende deitar por terra a Indústria 4.0 integrando processos biológicos, organismos, materiais e conhecimentos de biologia para aumentar a

eficiência da produção industrial, incluindo a promoção da **sustentabilidade** e da circularidade na produção. Fruto da combinação de processos técnicos, digitais e biológicos (como a edição genética CRISPR), a BIM inspira-se na natureza e sonha em transformar a produção para que esta se possa manter dentro dos limites planetários e utilizar recursos limitados de forma (bio)inteligente. A BIM nem sempre utiliza componentes biológicos, podendo também ser inspirada pela biologia, ou seja, **bioinspirada**.

Na verdade, em vez de rivais, estes termos representam diferentes formas de pensar as transformações em curso na fabricação industrial.

O consórcio BIOASSEMBLER é um exemplo de um projeto inovador de fabrico biointeligente, pois desenvolveu um método bioinspirado para montar biossensores em *wafers* de silício, com o objetivo de produzir muitos biossensores MEMS de forma rápida e eficiente. As técnicas utilizadas no projeto, incluindo a **biofuncionalização**, a **síntese fotolitográfica de ADN** e a **automontagem guiada por ADN sintético**, são exemplos concretos de fabrico biointeligente!



2. Componentes principais

**CONSTRUÇÃO
DE UM
BIOSSENSOR**

AMOSTRA

Uma amostra é o que recebemos quando vamos à gelataria e irritamos quem nos atende (e as pessoas atrás de nós) ao pedir para provar muitos sabores antes de comprar. É preciso ter coragem, ousadia e perguntarmo-nos: será que é mesmo preciso provar?

Certo, certo, talvez não concordem, mas o princípio é esse: uma amostra é uma pequena parte ou quantidade de algo, cuja análise tem como objetivo mostrar como é o todo ou uma parte maior.

Em estatística, uma amostra é um subconjunto de algo (por exemplo, pessoas), cujo estudo e análise são então (idealmente) representativos de um subconjunto maior (por exemplo, de pessoas de um país ou região).

Em biologia, uma amostra é um material recolhido de um organismo ou do ambiente para fins de investigação ou diagnóstico. Se alguma vez teve de fazer uma análise ao sangue no consultório médico, aquele frasco de sangue extraído do seu braço é uma amostra. Quando é analisada para detetar **biomarcadores** ou **analitos** específicos, a equipa médica obtém mais informações sobre o seu estado de saúde.

As amostras são fundamentais na medicina, na investigação e no desenvolvimento de medicamentos. Por exemplo, as amostras de sangue, urina, saliva, tecido, células, ADN e muito mais são estudadas com o objetivo de desenvolver biomarcadores, compreender (e diagnosticar) doenças, testar novos medicamentos e personalizar tratamentos.

Tal como o gelado, as amostras biológicas devem ser armazenadas com cuidado, pois estão sujeitas a degradação e contaminação. Os laboratórios têm protocolos claros relativos à rotulagem, selagem, refrigeração e outros aspetos, para garantir que as amostras com que trabalham se encontram em boas condições. Isto é essencial para garantir que a análise pode ser reproduzida, ou seja, para obter sempre os mesmos resultados se forem seguidos exatamente os mesmos procedimentos.

Além das questões técnicas, há também dimensões éticas na recolha, armazenamento e utilização de amostras biológicas na investigação científica. Para mais informações sobre este assunto, poderá consultar **ética**, **bioética** e **linhas celulares**.

Então, quais são as novidades em relação às amostras e à recolha de amostras?

Que bom que a pergunta foi feita! Bem, a forma como é feita a recolha de amostras de sangue é antiquada e não muito eficiente. Requer grandes volumes de sangue (o que é desconfortável para quem faz o exame), armazenamento refrigerado, muitas etiquetas e uma

logística de transporte complexa. Tudo isso aumenta os custos, o consumo de combustível e pode levantar questões éticas.

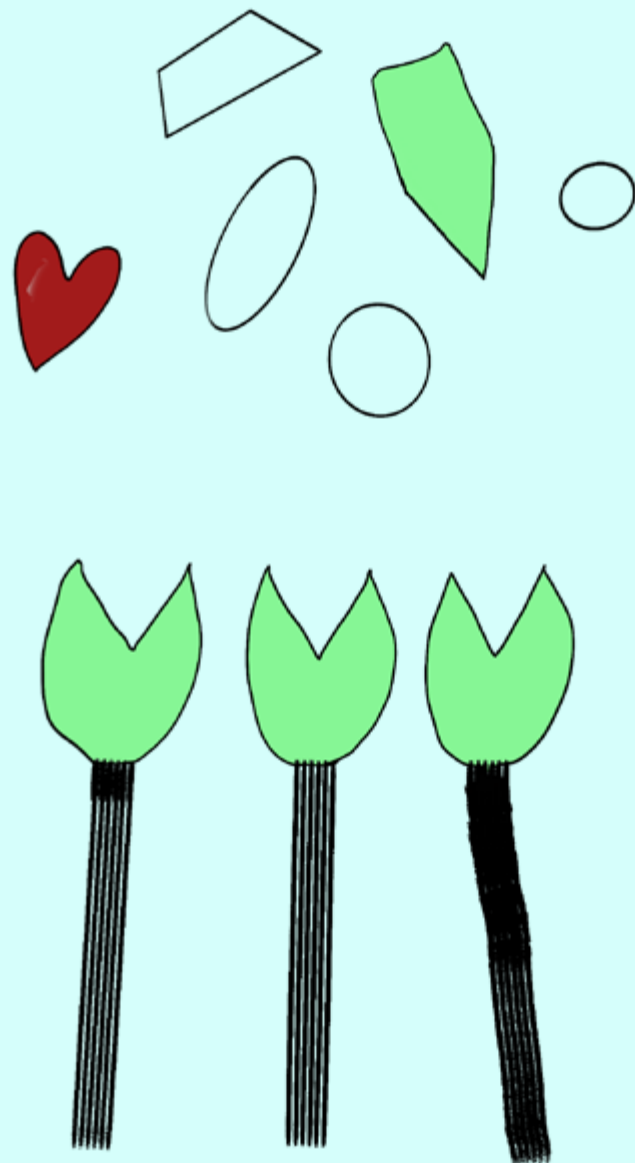
É por isso que se está a recorrer à microamostragem, que reduz a quantidade de volume de amostra necessária, diminui o uso de solventes e reagentes agressivos e minimiza as necessidades de armazenamento e recursos. Estas abordagens estão a ajudar a tornar a investigação mais eficiente, ética e sustentável.

Uma forma de fazer isso é com o uso de **microfluídica** (integrada a biossensores e outros dispositivos **lab-on-a-chip**), que reduz drasticamente a quantidade de amostra biológica necessária para análise. Em vez de um frasco inteiro de sangue, esse dispositivo pode exigir apenas um microlitro ou nanolitro de sangue.

Microamostragem: a prova de que mesmo uma gota de sangue pode ser positiva¹.



¹ N.T.: Na versão em inglês lê-se “B positive”, fazendo um trocadilho entre o tipo sanguíneo B e o som do verbo ser (*to be*).



ANALITO

Um analito é uma entidade química — uma substância ou molécula — que está a ser analisada, medida ou testada. Inclui desde iões e compostos simples até moléculas complexas, como proteínas, ADN ou ARN.

Por exemplo, a glicose é o analito alvo nos monitores contínuos de glicose, um dos biossensores de saúde mais amplamente utilizados. O lactato (também conhecido como ácido láctico) é o analito medido pelos biossensores de suor para desempenho atlético, que são cada vez mais populares entre atletas. Os testes de gravidez, por sua vez, detetam a hormona gonadotrofina coriónica humana (hCG), um analito presente na urina quando uma pessoa está grávida.

Os analitos são detetados por bioreceptores, que podem ser enzimas, anticorpos ou microrganismos. É como um jogo de apanhada, em que os bioreceptores são os «apanhadores» e estão à procura de capturar os analitos. Exceto pelo facto de que cada bioreceptor só pode capturar os analitos com os quais se combina bem. Ahhh, uma combinação perfeita... Como Sam Cooke disse uma vez: «Cupido, puxe o seu arco».

Embora muitos biossensores sejam concebidos e construídos para detetar um único analito, cientistas e engenheiros estão interessados em criar biossensores multiplex — biossensores que podem detetar múltiplos analitos a partir de uma única amostra. Este tipo de biossensores é mais complicado de fabricar, mas é para isso que servem os **consórcios**.

Por exemplo, a nova tecnologia de montagem desenvolvida no âmbito do projeto BIOASSEMBLER permite a deteção simultânea de dois analitos envolvidos na resposta inflamatória: proteína C reativa (CRP) e amiloide sérica A (SAA). Como estes analitos são **biomarcadores** de inflamação, este novo biossensor permitirá a deteção precoce da inflamação.

Mas qual é a diferença entre um analito e um biomarcador?

Analito é um termo geral para qualquer substância ou molécula que está a ser medida ou testada. Um biomarcador é um sinal quantificável, uma substância ou um processo associado a uma condição biológica ou doença (mas veja a entrada respetiva para saber mais sobre isso!).

BIOMARCADOR

Os biomarcadores, ou marcadores biológicos, são ao mesmo tempo simples e complexos. São fundamentais para a **saúde** e outros diagnósticos e fazem parte da nossa vida quotidiana, quer saibamos disso ou não. Em termos gerais, um biomarcador é uma característica mensurável que, se presente, ausente ou presente em determinadas quantidades, pode ser interpretada como um sinal de uma condição, doença ou estado anormal (ou normal) de saúde.

Se está a pensar: «Ei, isso parece um pouco vago», calma aí. *Hold your horses*. Vamos começar com alguns exemplos.

Pressão arterial. Há uma razão para os e as enfermeiras medirem este biomarcador há muito tempo estabelecido em quase todas as consultas médicas. A pressão arterial pode ser medida manualmente de forma fácil ou com um dispositivo, e as alterações nos seus valores podem indicar potenciais problemas cardiovasculares.

Proteína C reativa. Pense nela como o sistema de alarme interno do nosso corpo e um biomarcador fundamental para a inflamação. Ela é ativada quando há inflamação e também pode ajudar a identificar indivíduos com maior risco de doença coronária.

Açúcar no sangue. Ah, o açúcar. O seu corpo tenta eliminá-lo, mas às vezes ele permanece por muito tempo. A diabetes *mellitus* tipo 2 é uma das doenças metabólicas crónicas mais comuns e pode ser identificada pelos níveis de açúcar no sangue.

Parece bastante simples. Qual é o problema?

Bem, para começar, a correlação é uma das coisas mais difíceis de provar na ciência. Quando se fala de saúde, a maioria das doenças ou de condições relacionadas com a saúde são determinadas por complexas interações de fatores. Esta é uma das razões pelas quais os biomarcadores são o resultado de extensas pesquisas científicas e médicas, construção de consenso científico e, por fim, um processo de qualificação em várias etapas pelas autoridades competentes em diferentes partes do mundo.

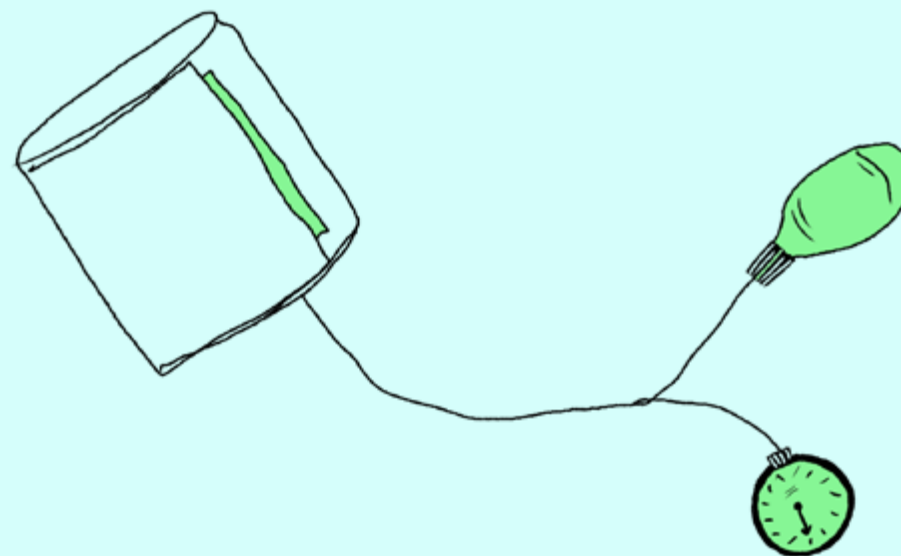
As e os investigadores trabalham em conjunto para reunir evidências que demonstrem que uma determinada característica está associada a um estado de saúde específico. Em seguida, classificam os biomarcadores de acordo com a sua associação, como *predictivos*, *diagnósticos*, *de monitorização*, *de suscetibilidade*, entre outros.

Os biomarcadores têm vindo a ganhar importância nos últimos 30 anos, não só no diagnóstico médico ou de saúde, mas também no desenvolvimento de medicamentos.

O desenvolvimento de medicamentos é um esforço lento, caro e de alto risco. Quando novos medicamentos ou remédios chegam à fase de ensaio clínico, os testes devem mostrar que são seguros para as

peçoas (e para os seus 78-79 órgãos e 11-12 sistemas, dependendo de a quem perguntar). Não é surpresa: a maioria dos medicamentos falha nesta fase. Líderes da indústria, governos, *start-ups* e investigadores esperam que biomarcadores mais qualificados permitam descobrir mais cedo se um medicamento será um sucesso estrondoso ou um fracasso, poupando tempo e dinheiro. *Dindim! Ka-ching*.

A descoberta de novos biomarcadores também permite a criação de biossensores mais sensíveis, acessíveis e rápidos para os medir. Idealmente, isso traz dois grandes benefícios: os pacientes recebem diagnósticos mais rápidos e precisos, e o lento e caro processo de desenvolvimento de novos medicamentos pode ser aprimorado.



ESCALA

Existem balanças² de cozinha e balanças da justiça. Uma serve para medir os ingredientes do seu bolo, a outra oferece uma metáfora para a imparcialidade no julgamento. Existem escalas musicais, que se referem à disposição das notas num sistema musical. E, claro, não podemos esquecer as escamas² dos peixes (para saber mais sobre esse assunto, veja a entrada sobre **tecnologia bioinspirada**).

No mundo dinâmico, mas em miniatura, dos biossensores, a escala é realmente importante para compreender o tamanho relativo dos vários componentes presentes no interior de um biossensor. Três escalas relevantes na biotecnologia são a macroescala, a microescala e a nanoescala.

Tudo o que se pode ver com os olhos, mesmo usando óculos graduados, está na macroescala. Uma maneira fácil de lembrar onde essa escala começa é pensar na largura de um fio de cabelo. Qualquer coisa desse tamanho ou maior está na macroescala. (Sim, sim, diferentes tipos de cabelo têm larguras diferentes. Encaracolado, crespo, ondulado ou liso, estamos a falar da média aqui).

A microescala, por sua vez, refere-se a coisas de menor dimensão, entre 1 mm (1000 µm ou micrómetros ou microns) e 100 nm (nanómetros). Os sensores MEMS e os biossensores MEMS estão na microescala. Os chips **microfluídicos** também estão na microescala, embora sejam usados para sintetizar, analisar e manipular partículas na nanoescala, que se refere a coisas muito menores (entre 100 nm e 1 nm). A **síntese fotolitográfica de ADN** é um processo em microescala, enquanto as moléculas individuais de ADN estão na nanoescala.

Para descobrir mais, vejamos esta fantástica tabela:

Como escrever?	Dar sentido a isto!	Nomear algo deste tamanho.
Metro (m)	1 m = 100 cm	Uma guitarra; uma criança de 3-4 anos de idade
Centímetro (cm)	1 cm = 10 mm	A altura de um Lego, um agrafo
Milímetro (mm)	1 mm = 1000 µm	Protetor de ecrã para telemóvel

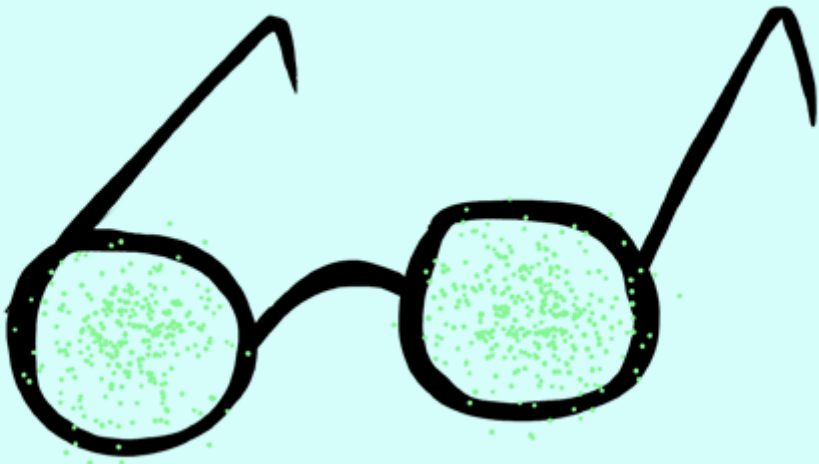
² N.T.: Na versão em inglês é usada a palavra “scale”, que pode ser traduzida como balança, escama ou escala.

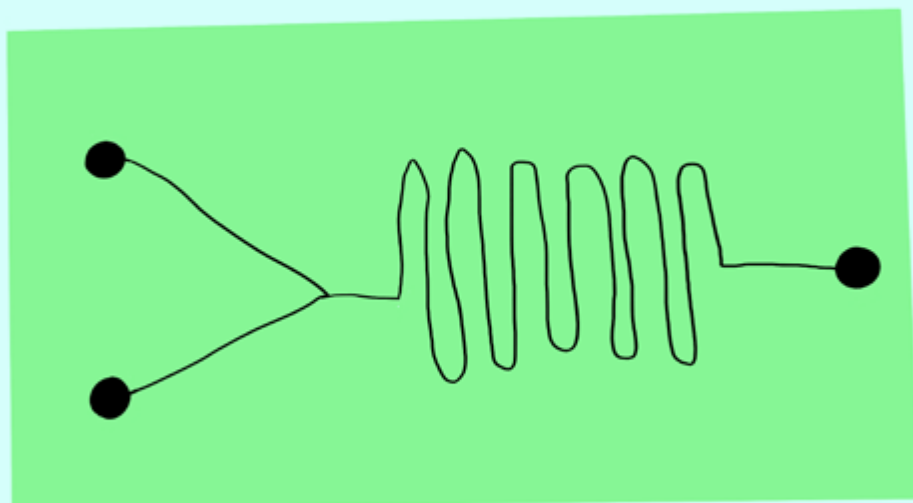
Micrómetro (µm, 10 ^{x6} m)	1 µm = 1000 nm	Bactérias comuns; um fio da teia de aranha
Nanómetro (nm, 10 ^{x9} m)	1 nm = 10 Å	Uma molécula de água; uma membrana celular
Angstroms (Å, 10 ⁻¹⁰ m)	1 Å = 100 pm	O diâmetro do fósforo, enxofre e cloro
Picómetro (pm, 10 ^{x12} m)	1 pm = 1000 femtómetro (fm)	Protões; neutrões; o núcleo de um átomo

Isto não é tudo! Hoje em dia, fala-se muito sobre aumentar a escala. Como aumentar a escala de um negócio ou aumentar a escala de produção, referindo-se geralmente ao aumento do tamanho das operações ou do número de unidades de um determinado item (por exemplo, sapatilhas) a ser fabricado.

A procura da indústria e o desejo de aumentar a produção de tecnologias como biossensores e dispositivos **lab-on-a-chip** estão frequentemente (mas nem sempre) ligados aos objetivos científicos e de engenharia de reduzir os componentes à microescala. Ou seja, trabalhar com peças cada vez menores.

Tomemos como exemplo o projeto BIOASSEMBLER: o consórcio trabalhou em micro e nanoescalas para encontrar formas inteligentes e bioinspiradas de aumentar a produção de biossensores em *wafers* de silício, tornando-os mais fáceis e baratos de produzir.





LAB-ON-A-CHIP (LABORATÓRIO-NUM-CHIP)

O minúsculo *lab-on-a-chip* do Tiago testa proteínas plasmáticas com precisão.

(Mais rápido) O minúsculo *lab-on-a-chip* do Tiago testa proteínas plasmáticas com precisão.

(Ainda mais rápido) O minúsculo *lab-on-a-chip* do Tiago testa proteínas plasmáticas com precisão.

A língua já ficou enrolada?

Difícil de escrever, complicado de pronunciar, um *lab-on-a-chip* (LoC) é um tipo de dispositivo pensado para replicar as funções de diagnóstico de um laboratório em miniatura. São ferramentas minúsculas que podem fazer muitas coisas, como misturar e analisar sangue ou água, tudo num pequeno *chip* do tamanho de um cartão de crédito.

Como fazer um: imagine um laboratório, encolha-o, encolha-o um pouco mais e agora fixe-o a um chip semicondutor: *presto!* Tem um *lab-on-a-chip*.

Isto seria fácil se existisse um raio laser para encolher coisas. Na realidade, a construção de dispositivos *lab-on-a-chip* é complexa — resulta de mais de 30 anos de inovação em microfluidica, fotolitografia, fabricação de semicondutores, impressão 3D, entre outras inovações.

Um biossensor não é um *lab-on-a-chip*. No entanto, os biossensores podem ser integrados em dispositivos *lab-on-a-chip* como um dos muitos componentes desse laboratório em miniatura. Os sensores são frequentemente componentes centrais dos LoCs porque permitem a medição e análise de substâncias biológicas e químicas, como no caso dos biossensores e sensores MEMS químicos, respetivamente.

Os dispositivos *lab-on-a-chip* estão atualmente a ser utilizados em diagnósticos, desenvolvimento de medicamentos e análises de ADN. Até mesmo um teste de COVID-19 é um tipo de dispositivo *lab-on-a-chip*, só que é um papel que guia a amostra pela tira, onde ocorre uma reação se o analito estiver presente. Outros dispositivos *lab-on-a-chip* mais complexos, como os dispositivos órgão-num-*chip*, estão em processo de inovação e foram comercializados de forma limitada. É isso mesmo, temos lugares na primeira fila para assistir ao nascimento deste bebé tecnológico — alguém passe as pipocas e a chupeta!

Há expectativas de que os dispositivos *lab-on-a-chip* desempenhem um papel cada vez mais importante na transformação das atuais tecnologias de diagnóstico e laboratoriais. O objetivo geral que impulsiona estas inovações é projetar um laboratório em miniatura que seja mais rápido, mais preciso, mais acessível, móvel, automatizado e que apenas exija uma amostra minúscula. Ainda há muito trabalho a ser feito para aí chegar. Para exemplos mais específicos de diferentes tipos de dispositivos de *lab-on-a-chip*, consulte x-on-a-chip.

X-ON-A-CHIP

Planta-num-*chip*.

Mar-num-*chip*.

Órgão-num-*chip*.

Placenta-num-*chip*.

Pulmão-num-*chip*.

O que vem à mente? Ciborgues? Um *Admirável Mundo Novo*?

Na verdade, ainda estamos a falar de dispositivos **lab-on-a-chip** (LoC) (verifique esta entrada, se ainda não o fez).

X-on-a-chip é um padrão de nomenclatura usado por cientistas e engenheiros para descrever tipos específicos de LoCs. Eles contêm compartimentos que visam replicar o «x», seja o mar, uma planta, um pulmão humano, uma placenta ou outro órgão ou organismo, a fim de melhor o estudar.

Os exemplos mais comuns são os dispositivos órgão-num-*chip* (*organ-on-a-chip*; OoC). Não se preocupe, não há órgãos reais nesses *chips* – pelo menos não no sentido de corações, cérebros, pulmões ou rins inteiros. Em vez disso, esses LoCs experimentais são projetados para imitar a estrutura de um órgão específico. Eles integram tecido vivo 3D em estruturas **microfluídicas** que imitam o fluxo de sangue e oxigénio, mantendo as células vivas.

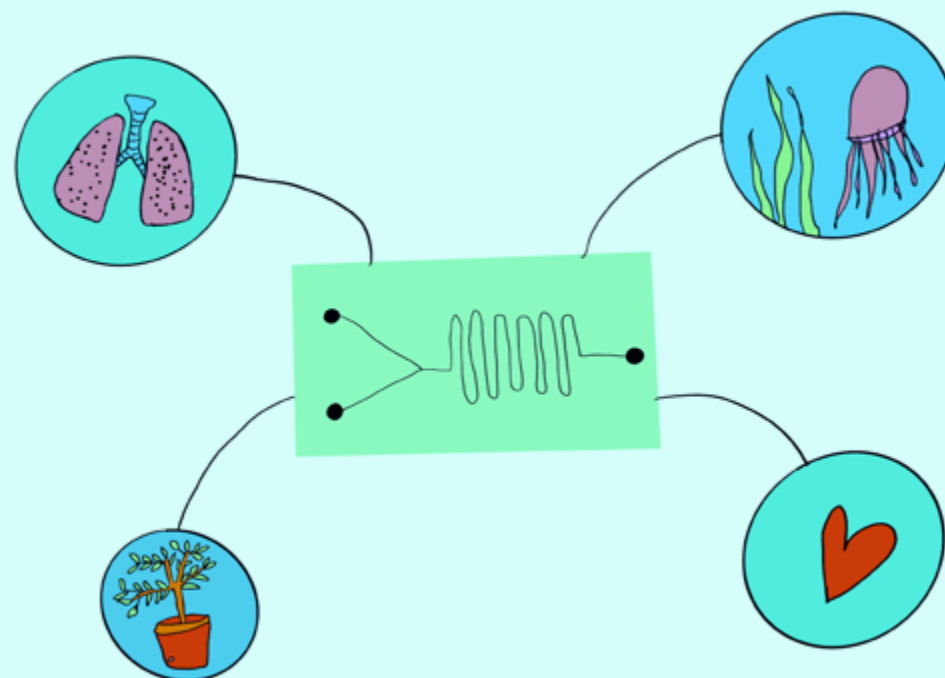
Uma das principais ideias por trás dos dispositivos OoC é construir um substituto para a investigação que não seja humano (nem outro animal), mas que imite a complexidade fisiológica dos órgãos do corpo humano. Estes dispositivos em miniatura proporcionam um grande impulso ao desenvolvimento de novos medicamentos. Ao replicar funções essenciais do corpo humano, permitem aos e às investigadores criar modelos mais precisos de como as doenças afetam diferentes grupos de pessoas.

Isto significa que os testes em fase inicial se tornam muito mais fiáveis na previsão de como um medicamento irá realmente funcionar nas pessoas. Como resultado, esses dispositivos podem ser usados para testar a eficácia e a segurança de um novo medicamento de forma muito mais realista do que era possível anteriormente. O que acontece após uma dose? Duas? Os medicamentos são eficazes?

Pensemos, por exemplo, em grupos prioritários, como grávidas ou crianças, que são frequentemente excluídos de estudos de investigação clínica. Isso dificulta a compreensão do impacto de medicamentos e intervenções nesses grupos, assim como em fetos, na placenta ou em recém-nascidos. O objetivo de um dispositivo como o placenta-num-*chip* é determinar de forma mais rápida e económica se um medicamento ou intervenção será viável antes de avançar para ensaios arriscados e dispendiosos em seres humanos e outros animais.

Existem vantagens e desvantagens éticas nos dispositivos de órgãos-num-*chip*. Tal como acontece com os anticorpos recombinantes sem o uso de animais, a utilização de dispositivos OoC pode reduzir a necessidade de testes em animais. No entanto, para que isto seja alcançado, os dispositivos devem ser padronizados e a legislação e protocolos devem ser atualizados, idealmente a nível internacional.

Outras considerações éticas incluem o consentimento para a doação de células (ver **linhas celulares**) ou o estatuto moral dos modelos realistas. Tal como no caso da biotecnologia, **uma visão crítica** dos *x-on-a-chip* também ajudará a identificar e a analisar questões éticas relacionadas com o aumento da utilização desta tecnologia.





ANTICORPOS

Uma boa piada, um filme com uma história comovente ou um cheiro repugnante. É difícil não reagir a coisas como estas. Rir, emocionar-se e sentir-se irritado são reações naturais do nosso corpo. São sinais que nos dizem se algo está a correr bem... ou talvez muito mal.

Se algo estranho entra no nosso corpo, contamos com os anticorpos para reagir. Os anticorpos são respostas de defesa naturais produzidas pelo nosso organismo contra invasores. Esses visitantes indesejados são chamados de antígenos e podem incluir vírus, bactérias, alergénios ou toxinas.

Os anticorpos são proteínas que se ligam a regiões específicas da superfície dos antígenos e os neutralizam de várias maneiras. Por exemplo, os anticorpos podem impedir que os vírus entrem nas células hospedeiras ou neutralizar as toxinas produzidas por bactérias.

Como os anticorpos são ótimos para identificar invasores, tornaram-se aliados importantes na deteção de certas substâncias.

Imagine que queremos saber se alguém tem COVID-19 ou uma constipação comum.

Hoje em dia, os biossensores são amplamente utilizados para este tipo de deteção. Estão disponíveis como testes rápidos e são utilizados em grandes laboratórios. Estes dispositivos detetam substâncias-alvo utilizando um elemento biológico, chamado bioreceptor. E sabe que mais? Em muitos casos, os anticorpos são a escolha ideal para a função de bioreceptor.

Na prática, funciona assim: os biossensores utilizam anticorpos como moléculas de captura na superfície do dispositivo. O objetivo é verificar se as moléculas dos anticorpos se ligam seletivamente ao componente-alvo (e *apenas* a esse alvo), por exemplo, ligando-se às proteínas na superfície do vírus.

Os anticorpos são representados em forma de «Y». O que acontece é que as suas extremidades, conhecidas como regiões variáveis, trabalham em conjunto para se ligarem ao antígeno identificado. Assim, quando uma **amostra** contendo o vírus é adicionada, as moléculas virais ligam-se a um anticorpo.

Essa reação especial cria um sinal claro da presença do vírus e a oportunidade perfeita para usar **anticorpos em biossensores** (vá ler essa entrada!).

ANTICORPOS RECOMBINANTES

Um grande desafio para cientistas e engenheiros, especialmente na área da biotecnologia, é avançar na ciência e, ao mesmo tempo, reduzir o sofrimento dos animais e tornar os processos mais ecológicos e sustentáveis.

Na produção de biossensores isso é muito importante, pois os biossensores dependem de materiais biológicos, como **anticorpos**, para funcionar.

Tradicionalmente, os anticorpos são obtidos de animais através da injeção de um antígeno estranho para estimular o seu sistema imunitário e desencadear a produção de anticorpos, que são então isolados para uso em biossensores. Neste processo, enquanto animais de grande porte, como cavalos e cabras, podem fornecer sangue em intervalos de tempo específicos, animais menores, como coelhos e ratos, podem não sobreviver.

Desde há algum tempo, as e os cientistas têm trabalhado numa solução para esse problema usando a **tecnologia de ADN recombinante**. Este é um método para alterar segmentos de ADN fora de uma célula ou organismo vivo para obter características melhoradas e desejadas. Esta tecnologia torna possível criar o que conhecemos como «organismos geneticamente modificados» ou proteínas recombinantes.

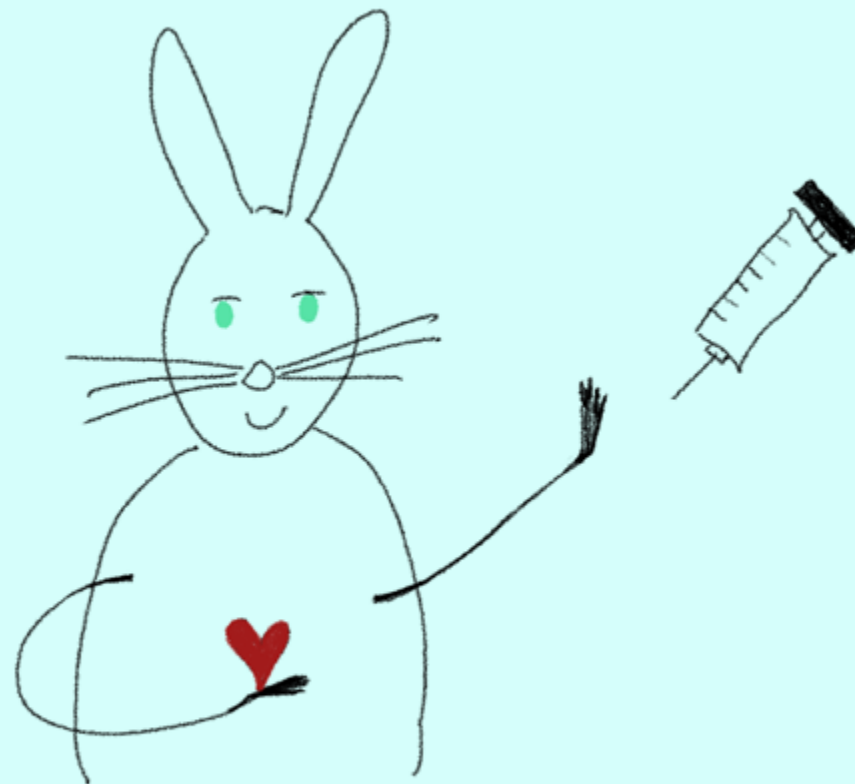
E uma das muitas aplicações da tecnologia do ADN recombinante é a produção de anticorpos totalmente recombinantes. Esses anticorpos podem ser produzidos em laboratório por cultura celular, um processo de crescimento e manutenção de células fora do seu ambiente natural.

Como funciona tudo isto? O primeiro passo para a produção em cultura celular é obter a sequência de ADN do anticorpo a ser detetado, o anticorpo que se deseja criar. Isto é feito através da exposição a fagos de anticorpos, um método de seleção de anticorpos por bacteriófagos a partir de uma biblioteca de anticorpos – um conjunto de milhões a milhões de milhões de sequências diferentes de anticorpos isoladas do sangue humano.

Além de substituir os anticorpos de origem animal, uma vantagem importante da tecnologia recombinante é a possibilidade de modificar os anticorpos de diferentes maneiras para torná-los mais adequados a biossensores. Isto inclui a criação de diferentes marcadores de proteínas utilizados para fixar os anticorpos à superfície dos sensores.

Outra grande vantagem dos anticorpos recombinantes é que o seu desempenho é sempre previsível. Ao contrário dos anticorpos derivados de animais, aqueles não requerem testes individuais e padronização. Os anticorpos recombinantes têm uma afinidade de ligação específica e a sua concentração pode ser medida. Isso permite um processo de produção preciso.

Se tudo isto parece excelente e muito inovador, é porque é mesmo! O que acha do impacto ético e científico dos anticorpos recombinantes?



TECNOLOGIA DE ADN RECOMBINANTE (DNAr)

Recombinante é um adjetivo usado para descrever algo que foi *combinado novamente* ou recombinado. É especialmente aplicado ao ADN, como ao *ADN recombinante* (abreviado como DNAr), para referir o ADN que contém genes de mais do que uma fonte.

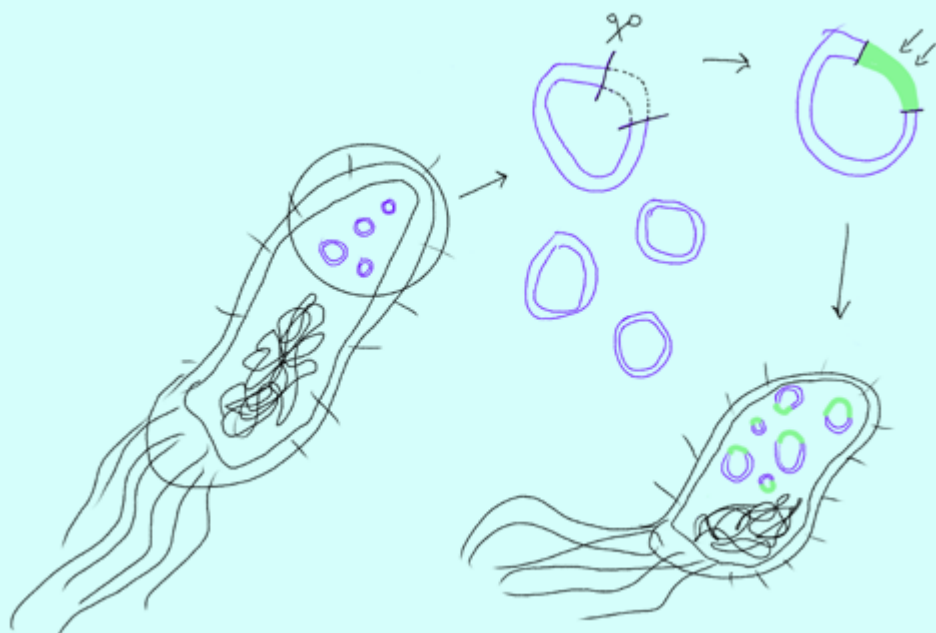
O DNAr é criado através da inserção de um gene de interesse numa célula hospedeira. Para fazer isso, os técnicos usam um vetor, geralmente um plasmídeo (um pequeno anel de ADN encontrado em bactérias), que é *clivado* ou dividido. Após isolar o gene de interesse, esse gene é inserido na lacuna do plasmídeo e selado com uma enzima chamada ADN ligase. Para ajudar a visualizar este processo, imagine que corta um elástico microscópico com uma tesoura de tamanho molecular, deixando duas extremidades expostas. O gene de interesse é então colado entre estas duas “extremidades adesivas”, criando novamente um anel completo. É assim que o ADN recombinante é produzido.

Em seguida, o plasmídeo (o elástico neste cenário) é devolvido à bactéria, onde começa a replicar-se por conta própria. À medida que o anel do plasmídeo se replica, o mesmo acontece com o gene de interesse que foi cortado e colado no plasmídeo!

A tecnologia de ADN recombinante tem sido utilizada para produzir insulina recombinante ou «insulina humana» desde 1978. Na verdade, a insulina recombinante foi o primeiro medicamento biotecnológico aprovado, criado para atender à procura por essa hormona que salva vidas. Antes desta inovação, a insulina era derivada apenas de animais, como porcos e vacas. A mudança da insulina de origem animal para a «insulina humana» recombinante no final da década de 1970 e na década de 1980 representou uma transformação significativa na produção de insulina.

Além da produção de insulina, a tecnologia de ADN recombinante permitiu a criação de vacinas, como a vacina contra a hepatite B, através da inserção de genes virais em células de levedura! Também é amplamente utilizada na agricultura para desenvolver culturas geneticamente modificadas que apresentam maior resistência a pragas, doenças e *stress* ambiental, como a seca. A sua utilização também suscitou debates **éticos** e ambientais sobre a mercantilização e o patenteamento de sementes e biotecnologias por empresas privadas.

Outra transformação na produção está atualmente em curso, à medida que biotecnólogos investigam a produção de anticorpos recombinantes para a produção de medicamentos e investigação científica com vista a reduzir a dependência atual de anticorpos de origem animal. Para saber mais sobre esta transformação e por que é importante, consulte a entrada sobre **tecnologia de anticorpos recombinantes**.



ANTICORPOS EM BIOSENSORES

Os biossensores diferem de outros sensores porque incluem um elemento biológico chamado bioreceptor. E os **anticorpos** possuem os atributos ideais para essa função.

Vamos examinar mais de perto o motivo:

Para começar, algo incrível sobre os anticorpos é a sua modularidade. Cada anticorpo tem duas regiões principais: uma região constante e uma região variável. A região variável contém regiões hipervariáveis que variam muito entre anticorpos. Isso faz com que os anticorpos se liguem seletivamente ao antígeno, que podem ser proteínas na superfície de um vírus ou uma substância tóxica, como cocaína ou um pesticida. A lista continua, mas o ponto principal é que os anticorpos protegem a nossa saúde ao reconhecer e ligar-se a potenciais ameaças ao nosso sistema imunológico.

Outra característica é que, além de fazerem o seu trabalho, os anticorpos podem atuar como mediadores entre um antígeno e o sistema imunológico. E fazem isso recrutando outras partes do nosso sistema imunológico para a batalha. Por exemplo, podem ativar células assassinas naturais para combater antígenos.

Então, como é que as características dos anticorpos são usadas em biossensores? Os anticorpos são quimicamente ligados à superfície do sensor para que possam ligar-se seletivamente a um alvo.

Consideremos o exemplo de um biossensor famoso, simples e preciso: o teste rápido de gravidez. Neste caso, o alvo é uma hormona chamada hCG, encontrada apenas na urina de mulheres grávidas. Se a hCG estiver presente numa amostra, ela ligar-se-á aos anticorpos específicos que só se ligam a moléculas de hCG. Esta interação será sinalizada por uma mudança de cor no teste.

Mas como é que o teste funciona *realmente*?

Primeiro, um conjugado de um anticorpo e um agente corante é colocado na superfície. A amostra é então adicionada e o anticorpo liga-se à hCG presente nela. O líquido (com o anticorpo e a amostra ligada) move-se ao longo da tira de teste até atingir a linha de teste e de controlo. Na linha da amostra, há um segundo anticorpo «fixo» que também se liga à hCG e, portanto, liga-se à hCG e ao anticorpo conjugado. O resultado é uma «sanduíche» com o anticorpo fixo + hCG + anticorpo conjugado. Esse arranjo significa que o resultado é positivo.

No entanto, se nenhuma hCG for detetada na amostra, a cor é lavada, indicando um resultado negativo.

Mas podemos perguntar: de onde vêm os anticorpos usados nos biossensores? Os anticorpos são produzidos biologicamente e a maioria dos anticorpos usados nos biossensores são obtidos de animais através de um processo de duas etapas: imunização do animal e isolamento de anticorpos. Mas esta realidade mudou, graças à **tecnologia de anticorpos recombinantes** e proteínas sintéticas — e essa transição representa um grande passo para a redução do sofrimento animal na ciência.



LINHAS CELULARES

As linhas celulares são uma revolução. E, como a maioria das revoluções, esta chegou por um caminho conturbado.

Data: janeiro de 1951. Local: Maryland, EUA. Uma jovem afro-americana chamada Henrietta Lacks visitou o Hospital Johns Hopkins queixando-se do que descreveu como um «nó» no útero. Quatro meses antes, ela tinha dado à luz o seu quinto filho, mas não tinha sido fácil. Uma biópsia desse «nó» cervical revelou ser cancerígeno. Durante o seu tratamento, **amostras** do seu tecido cervical foram enviadas a um biólogo celular sem o seu conhecimento ou consentimento — ou o da sua família. Henrietta morreu de cancro em agosto de 1951.

Mary Kubicek, uma técnica de laboratório e investigadora que trabalhava com o biólogo celular George Otto Gey, propagou as células de Henrietta. Enquanto a maioria das células morre, para surpresa de todos, as células de Henrietta duplicavam todos os dias devido a uma mutação. Essas células, conhecidas como células HeLa (de *Henrietta Lacks*), tornaram-se a primeira linha celular imortalizada a crescer em laboratório e revolucionaram a medicina e a ciência.

Na verdade, o Instituto Nacional de Saúde (NIH) dos Estados Unidos mantém uma base de dados de pesquisas sobre e com células HeLa, tal é a sua importância para a ciência. Para citar apenas alguns destaques, as células HeLa têm sido utilizadas para:

- Cultivar o vírus da poliomielite para investigação científica e ajudar no desenvolvimento da vacina contra a poliomielite.
- Compreender o efeito dos raios X na saúde humana.
- Desenvolver novos métodos de investigação do cancro.
- Estudar o impacto da radiação nos astronautas no espaço sideral.
- Desenvolver tratamentos para o cancro e doenças do sangue.
- Compreender como a salmonela e a tuberculose infetam o corpo.
- Aprender como funcionam as infeções por VIH e Ébola, contribuindo para o desenvolvimento de tratamentos.
- Compreender melhor o envelhecimento.

E muito, muito mais

Apesar dos muitos avanços alcançados com o uso das células HeLa, durante décadas a família de Henrietta não soube do papel que ela desempenhou na pesquisa e nunca deu consentimento para o uso e estudo das suas células. Trabalhando com a jornalista Rebecca Skloot, autora de *The Immortal Life of Henrietta Lacks* (2010), a sua família tem pressionado pelo reconhecimento de Henrietta como pessoa, por reparações, justiça racial na medicina e na investigação científica e transformações na **ética** e nos protocolos de investigação em torno do consentimento e da **privacidade dos dados**.

As células HeLa não são a única linha celular imortalizada. A HEK293 é outra linha celular amplamente utilizada, derivada de um embrião humano morto no início da década de 1970. Foi no laboratório do biólogo molecular Alex van der Eb, na Holanda, que o jovem investigador Frank Graham conseguiu tornar essas células imortais. Ele modificou-as para que pudessem continuar a dividir-se. «HEK» vem de *Human Embryonic Kidney* (Rim Embrionário Humano) e 293 é o número do laboratório, daí o nome HEK293.

Uma das descobertas mais importantes feitas com as linhas celulares HEK293 foram as novas vacinas contra a COVID-19. No projeto BIOASSEMBLER, as e os investigadores também utilizaram células HEK293 para produzir os anticorpos utilizados na nova tecnologia de montagem (ver **automontagem guiada por ADN sintético**).



BIBLIOTECA DE ANTICORPOS

Imagine uma biblioteca. Provavelmente está a pensar em livros, no cheiro a papel velho e na bibliotecária mais adorável (ou rabugenta) que existe. Mas estes não são os únicos tipos de bibliotecas que existem!

As bibliotecas de anticorpos são uma ferramenta incrível para a investigação. Estas coleções selecionadas de anticorpos permitem às e aos cientistas pesquisar e identificar rapidamente o anticorpo exato que procuram — seja um anticorpo que tenha como alvo um antígeno específico ou um que possua propriedades de ligação ou outras propriedades funcionais únicas.

Existem muitos tipos diferentes de bibliotecas de anticorpos, com base no tipo de anticorpo que contêm. Por exemplo, existem bibliotecas que contêm apenas anticorpos sintéticos recombinantes ou **anticorpos recombinantes** de outras origens. Existem também bibliotecas de imuno-anticorpos (imuno-bibliotecas), que contêm anticorpos diretamente de dadores que foram expostos ao antígeno.

A biblioteca não contém os anticorpos em si, mas sim os seus planos sob a forma de sequências de ADN. Cada sequência de ADN contém as instruções de como produzir o anticorpo. E consegue adivinhar onde são produzidas estas sequências de genes de anticorpos? Sim, em **linhas celulares** (ou culturas celulares) como a HeLa ou a HEK293!

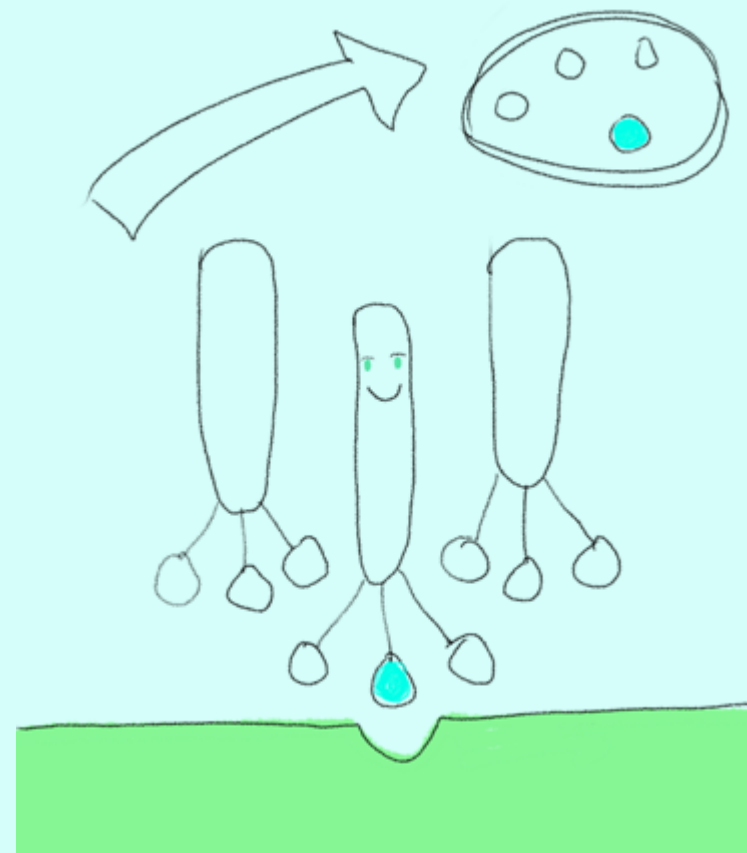
Quando procuram um anticorpo com uma função específica ou que seja mais eficaz contra um vírus, as e os cientistas consultam a biblioteca de anticorpos e procuram modelos que possam ser adequados. De seguida, inserem estes modelos (o ADN) em células (de bactérias, leveduras ou um tipo específico de vírus chamado bacteriófago, ou simplesmente fago - ou *phage*, em inglês). Estas células leem o ADN e produzem o anticorpo. Os fagos são particularmente interessantes porque, após a inserção de fragmentos de ADN, exibem o anticorpo na sua superfície. Esta técnica é chamada de *phage display*.

Este processo de encontrar novos anticorpos, seja para combater vírus ou bactérias, seja para desenvolver medicamentos ou ferramentas de diagnóstico como biossensores, é muitas vezes chamado de descoberta de anticorpos e assemelha-se a uma caça ao tesouro que começa nas bibliotecas de anticorpos. Por exemplo, os bons biossensores requerem anticorpos específicos e fiáveis que se liguem apenas ao **analito** alvo. As bibliotecas de anticorpos permitem aos investigadores procurar, de entre uma infinidade de anticorpos, aqueles que se ligarão apenas ao analito alvo e que sejam estáveis o suficiente para funcionar num dispositivo.

As bibliotecas de anticorpos desempenharam um papel importante na capacidade dos cientistas para combater a COVID-19. Assim que os investigadores identificaram a proteína *spike* como o principal ponto

que impedia a infeção das células pelo vírus, iniciou-se a procura de anticorpos capazes de se ligar a esta proteína. As e os investigadores utilizaram bibliotecas de anticorpos para identificar possíveis candidatos, chegando, por fim, aos melhores anticorpos para o desenvolvimento de terapias e diagnósticos. Como os vírus estão em constante evolução, o mesmo acontece com a descoberta de anticorpos (e é por isso que há uma nova vacina contra a gripe todos os anos!).

Ao contrário das bibliotecas públicas, a maioria das bibliotecas de anticorpos não é gratuita. Muitas empresas de biotecnologia e farmacêuticas mantêm bibliotecas comerciais de anticorpos protegidas por leis de **Propriedade Intelectual**. Investigadores ou instituições pagam geralmente por licenças para aceder a estas bibliotecas ou por serviços internos de descoberta de anticorpos. No entanto, existem diversos esforços por parte de organizações sem fins lucrativos e universidades para criar bibliotecas de anticorpos de acesso aberto (ver **Ciência Aberta**) para tornar esta tecnologia e este conhecimento mais acessíveis!



ADN ZIP CODE

Já se perguntou como podemos orientar as coisas no mundo microscópico para que encontrem o seu caminho? Cientistas e engenheiros desenvolveram um sistema surpreendentemente semelhante ao nosso serviço postal, mas em vez dum código postal numa carta, usam um código postal de ADN — ou ADN *zip code*.

Pensemos nisso desta forma: um código postal normal num envelope indica ao serviço postal onde entregá-lo. No mundo da nanotecnologia, um código postal de ADN faz algo muito semelhante. É um pedaço curto e único de ADN que funciona como um endereço minúsculo, guiando moléculas para um local específico numa superfície, como um *chip* de silício. Mas não se trata apenas do endereço; trata-se também de identidade. Assim como um código de barras identifica um produto de forma única, cada ADN *zip code* tem uma sequência única. Apenas uma molécula que carregue a cadeia de ADN «código de barras» (ou ADN *barcode*) complementar correspondente se pode ligar. Este sistema brilhante é a chave para um processo chamado **automontagem guiada por ADN**.

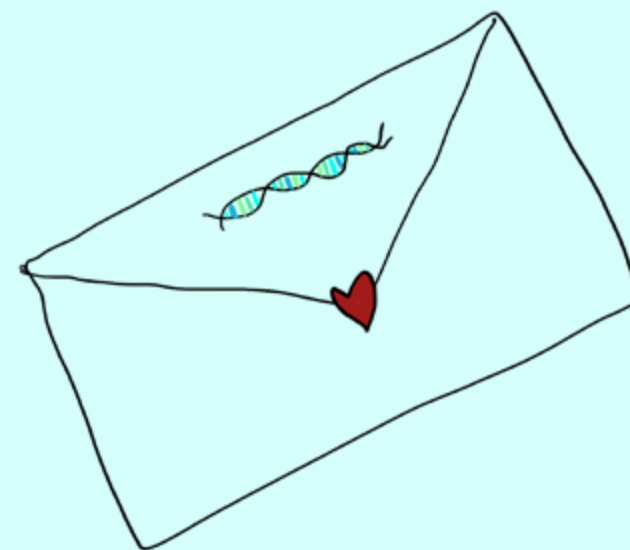
Este princípio é simples (*maravilhosamente simples*, poderíamos dizer). Baseia-se na tendência natural de duas cadeias de ADN simples complementares se emparelharem e formarem uma dupla hélice. Ao ligar uma cadeia de ADN específica a uma proteína (como um anticorpo), podemos guiá-la para encontrar o seu parceiro complementar — o ADN *zip code* — que foi imobilizado num local preciso na superfície de um *chip*.

Então, como é que esses endereços de ADN são criados num *chip*? O projeto BIOASSEMBLER utilizou uma técnica chamada fotolitografia, que é um pouco como imprimir com luz (mas consulte a entrada **síntese fotolitográfica de ADN** para mais informações). Isto permite «imprimir» vastas matrizes de diferentes códigos postais de ADN num **wafer** de silício com incrível precisão. Estamos a falar de uma precisão submicrométrica! (Não sabe o que é isso? Veja a entrada sobre **escala**.) Isto cria uma espécie de «quadro de distribuição molecular» no *chip*.

A verdadeira magia acontece quando biomoléculas marcadas com ADN são introduzidas neste quadro de distribuição. Elas «automontam-se» automaticamente, com cada molécula encontrando e ligando-se apenas ao seu código postal específico e complementar. Isto permite a construção de matrizes de sensores complexas com precisão e velocidade excecionais, tudo de uma só vez em todo o *wafer*.

Além disso, esta tecnologia oferece uma flexibilidade incrível. Por exemplo, produzindo *chips* que têm apenas a camada de ADN *zip code*. Isto significa que o utilizador final pode decidir quais proteínas marcadas com ADN ou outras biomoléculas adicionar posteriormente, simplesmente introduzindo o conjunto escolhido de ligantes de automontagem quando estiver pronto para realizar a sua experiência. É uma forma poderosa de unir os mundos da nanotecnologia e da biotecnologia, criando uma plataforma de fabrico altamente eficiente e personalizável para construir a próxima geração de biossensores.

Incrível, não é? E isso é apenas parte do trabalho inovador realizado no BIOASSEMBLER!



WAFER (BOLACHA)

No mundo miniatura dos biossensores, um *wafer* não é uma bolacha e um *chip* não é um salgado.

Um «*wafer*» refere-se a um disco de silício, ou «*Si-wafer*» para abreviar. Os *Si-wafers* são discos superfinos e superplanos de silício cristalino que são mais frequentemente usados como semicondutores em dispositivos eletrônicos. Parecem pequenos CDs ou DVDs brilhantes — mas sem o orifício no meio!

Talvez não saiba, mas os *Si-wafers* estão à nossa volta. Estão nos nossos computadores, *smartphones*, televisões, carros e até mesmo nos painéis solares. Também são usados em sensores de sistemas microeletromecânicos (MEMS). Se alguma vez conduziu e teve a infelicidade de ver a luz do TPMS — o «Sistema de Monitorização da Pressão dos Pneus» — acender devido à baixa pressão do ar ou a um pneu furado, isso é prova de que um **sensor MEMS** baseado em *wafer* de silício está a funcionar para si!

Mas como é que os *wafers* funcionam realmente?

Pensemos num disco de silício como a base de uma sandes ou de um bolo. É a camada inferior ou substrato sobre o qual tudo o resto é construído. Usando técnicas como **fotolitografia**, circuitos integrados ou «*chips*» são gravados na superfície do *wafer* e minúsculos transístores são padronizados nos *chips*. Este processo delicado deve ocorrer em **salas limpas** para evitar contaminação. Estes interruptores elétricos em miniatura são o que fazem dispositivos como computadores funcionarem. Cada transístor pode ser ligado ou desligado individualmente, e é assim que as informações binárias (0 e 1) são armazenadas e processadas. Quanto mais transístores houver num único *chip*, mais dados o *chip* de silício poderá processar e a uma velocidade maior.

Desde a década de 1980, os *Si-wafers* tornaram-se maiores em diâmetro (de cerca de 15 cm para 30 cm), enquanto os *chips* ou «*microchips*» e transístores ficaram mais pequenos. Isso significa que mais *chips* podem ser gravados num único *Si-wafer*, levando a uma maior densidade de *chips*. O mais recente *chip* M2 da Apple, por exemplo, tem apenas alguns milímetros de tamanho e 20 bilhões de transístores na sua superfície! Isso é possível porque os componentes do *microchip*, os «nós do *chip*», têm apenas 5 nanómetros. Para efeito de comparação, um glóbulo vermelho tem aproximadamente 7000 nanómetros de largura e é impercetível a olho nu. Microscópios óticos potentes ou «nanoscópios de microesferas» permitem que os seres humanos vejam nessa escala. Isso significa que *chips* incrivelmente poderosos cabem agora em aparelhos menores, como em *smartphones* e relógios.

Os *Si-wafers* são blocos de construção não apenas para *chips* de computador, mas para todos os tipos de sensores minúsculos. Bioengenheiros utilizam-nos agora para fabricar biossensores que podem detetar moléculas ligadas à saúde e às doenças. Imagine imprimir **anticorpos**, os detetores naturais do corpo, diretamente num *microchip* feito de um *wafer* de silício!



SENSOR ARRAY

Uma matriz (*array*) é uma exibição ou disposição organizada de coisas. Por exemplo, a Biblioteca Joanina da Universidade de Coimbra possui uma matriz de manuscritos históricos raros, assim como este livro apresenta uma matriz de termos e definições. Na ciência da computação, uma matriz é uma estrutura de dados em que cada informação tem uma posição específica.

Quando se fala de sensores, incluindo **biossensores MEMS** e **sensores MEMS**, uma matriz de sensores, ou *sensor array*, é um grupo de sensores dispostos num padrão específico em **wafers** de silício. Esses conjuntos de sensores são criados em salas limpas usando técnicas de fabricação de semicondutores de alta tecnologia, como a **fotolitografia**, que é semelhante à forma como os *microchips* são fabricados. Este é um dos primeiros passos na construção de um biossensor!

Agora, vejamos um exemplo específico: conjuntos de microressonadores acústicos.

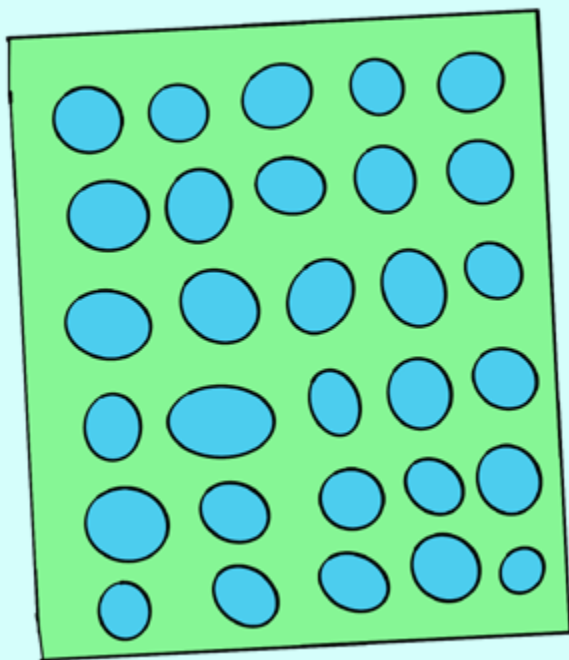
Talvez já saiba que os **microressonadores acústicos** são um tipo de tecnologia de sensores (Não sabe? Veja a entrada sobre o tema!). Estes ressonadores detetam alterações na massa quando moléculas biológicas (o analito) se ligam à superfície do sensor. Esta alteração é então medida eletronicamente. Uma vez que dezenas destes sensores cabem numa área de apenas alguns milímetros quadrados, são perfeitos para criar biossensores minúsculos, mas poderosos.

Para criar um biossensor que utilize matrizes de microressonadores acústicos, os ressonadores têm de ser colocados num Circuito Integrado de Aplicação Específica (ASIC, do inglês *Application-Specific Integrated Circuit*).

Um quê?

Um ASIC é um tipo especial de *chip* de computador projetado para realizar uma tarefa com extrema eficiência, como processar transações financeiras ou alimentar um *smartphone*. Como é feito para uma tarefa específica (em vez de lidar com muitas tarefas diferentes, como um *chip* de computador comum), é mais rápido e eficiente.

Agora, imaginemos que estamos a fazer um bolo de bolacha (esse delicioso bolo em camadas). A primeira camada é o *wafers* de silício, que é gravada usando fotolitografia para criar o ASIC. É como a base de bolacha do bolo. Em seguida, os ressonadores acústicos são cuidadosamente colocados por cima (como o recheio cremoso do bolo) usando **deposição de filme fino**. Juntas, essas camadas formam o substrato, ou a camada de base para as próximas camadas ou etapas, a colocação de anticorpos no biossensor.



MICRORRESSONADORES ACÚSTICOS

São minúsculos, são poderosos, são: microrressonadores acústicos!

Oh, o texto está muito pequeno? Vamos aumentar o tamanho da fonte e tentar novamente.

São minúsculos, são poderosos, são: **microrressonadores acústicos!**

Ahhh, assim está melhor. Algumas coisas são demasiado pequenas para serem vistas ou ouvidas. Imprimir em fontes maiores, aumentar o volume da televisão, usar lentes de aumento ou aparelhos auditivos são técnicas que permitem que imagens muito pequenas e sons muito suaves sejam ampliados ou aumentados, de modo a que as nossas capacidades sensoriais humanas limitadas possam ser aprimoradas.

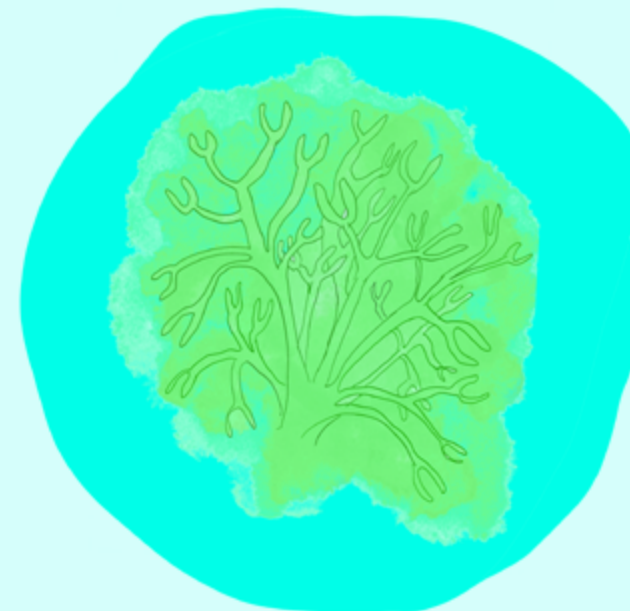
Os microrressonadores acústicos são um tipo de dispositivo que permite a deteção de alterações minúsculas de massa, como as que ocorrem num biossensor que tem por base anticorpos. Neste tipo de biossensor, os anticorpos estabelecem ligações químicas à superfície do sensor. Quando os **anticorpos integrados no biossensor** se ligam a um analito (a substância que está a ser testada ou medida), ocorre uma alteração na massa. Quando a massa é adicionada a um microrressonador acústico incorporado num biossensor, há uma diminuição na frequência ressonante (GHz) do ressonador acústico. Esta é a frequência na qual um sistema tende a oscilar ou vibrar. Esta alteração na frequência é o que sinaliza a deteção do analito. A alteração é medida por um Circuito Integrado Específico para a Aplicação (ASIC; para mais informações sobre isto, consulte **sensor array**) que está integrado no *chip* de silício ou *wafers* ao lado do microrressonador acústico.

Isto levanta a questão: *como* é que os microrressonadores acústicos acabam por fazer parte de biossensores?

Voltemos um pouco atrás.

Em **salas limpas**, os *wafers* de silício são repetidamente revestidos com finas camadas de material e gravados usando processos fotolitográficos para produzir circuitos (circuitos integrados específicos para aplicações, para ser mais preciso) que são integrados monoliticamente ao *chip*. Essa é uma maneira sofisticada de dizer que o circuito é incorporado ao *chip*, não sendo fixado ou colado com cola ou qualquer outro tipo de mecanismo adesivo. Este é um método bem estabelecido de fabricação de semicondutores chamado CMOS, que significa Semicondutor Complementar de Óxido Metálico (do inglês *Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*).

As matrizes de sensores de microrressonadores acústicos são então depositadas sobre o ASIC ou circuito integrado através da chamada “deposição de película fina ScAlN”. É verdade, isto é demasiado complexo para uma única entrada. Confira **deposição de filme fino** para saber mais!



P.S. Bem, perguntamo-nos... quem inventou todas estas siglas? Por que são tantas e tão difíceis de pronunciar? Os linguistas foram consultados?

P.P.S. Bem, cada sigla tem uma história. FACTO: a *Radio Corporation of America* (nascida em 1919, falecida em 1987, *RIP*) registou a marca COS-MOS, mais divertida de pronunciar, levando os concorrentes a criar outro nome. O consenso formou-se em torno de CMOS na década de 1970. Mas não se preocupe, ainda é divertido de pronunciar: SEA MOSS (alguém mais está a ter uma sensação verde e felpuda?).

3 N.T.: No original, em inglês, faz-se um trocadilho entre o som da letra C (*ci*) e o da palavra mar (*sea* - *si*), e o da sigla MOS com o da palavra *moss* (musgo).

SALAS LIMPAS

As salas limpas são muito mais do que um espaço arrumado: são ambientes altamente controlados onde são fabricados componentes eletrônicos em nano e microescala, incluindo elementos de detecção para biossensores. As salas limpas também são utilizadas na produção de ecrãs planos para *smartphones*, produtos farmacêuticos e em hospitais — onde as primeiras «salas limpas» foram inventadas para realizar operações em ambientes estéreis.

Essas instalações cuidadosamente projetadas permitem o controle preciso da temperatura, pressão, fluxo de ar e até mesmo do número de partículas no ar. Elas são concebidas para impedir a entrada de elementos externos (como poeira ou vírus transportados pelo ar) e, em alguns casos, para manter elementos internos (como no caso de materiais perigosos).

As salas limpas utilizadas no fabrico de elementos para biossensores também devem ser estéreis, ou seja, livres de bactérias e outros microrganismos. Elas são essenciais para o fabrico de muitos dispositivos eletrônicos e sensores, pois uma única partícula de poeira pode afetar o desempenho de um *chip* microeletrónico! Mas também são caras de construir, operar e manter. Por esse motivo, não são tão comuns e, na Europa, costumam receber apoio financeiro dos governos nacionais, da União Europeia e de tarifas da indústria.

Vamos conhecer duas destas instalações realmente impressionantes na Europa:

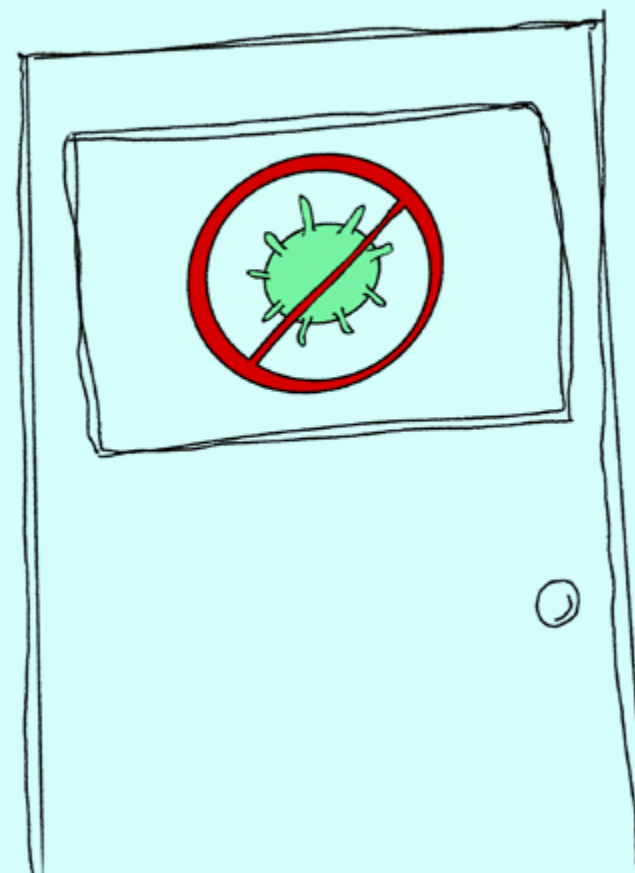
A Micronova, em Espoo, no sul da Finlândia, é a maior sala limpa do norte da Europa, gerida pela Universidade de Aalto e pelo Centro de Investigação Técnica da Finlândia (VTT), um parceiro estatal de investigação e inovação. Com uma área de 2600 m², esta instalação tem aproximadamente o dobro do tamanho de uma piscina olímpica. Está repleta de máquinas sofisticadas para a produção de micro-, nano- e biotecnologias, utilizando uma variedade de técnicas de produção, como **fotolitografia** e deposição de camada atômica (ALD).

O Laboratório Ibérico Internacional de Nanotecnologia (INL), em Braga, no norte de Portugal, também possui uma grande sala limpa com uma área de 1200 m² para instalações e equipamentos. Fundado e gerido conjuntamente pelos governos de Portugal e Espanha, com o apoio da União Europeia, o INL é um centro de investigação, ciência e até arte em nano- e biotecnologia! É isso mesmo, o INL abre as suas portas para oferecer residências artísticas a artistas que usam o seu trabalho para **comunicar** e contribuir para descobertas científicas.

As salas limpas não são exclusivas da investigação, elas são também uma parte fundamental das grandes indústrias. No entanto, enquanto as salas limpas de investigação, como a Micronova e o INL, são

projetadas para oferecer flexibilidade e possibilidades de experimentação, as salas limpas industriais tendem a ser altamente especializadas. Empresas em áreas como a eletrónica operam os seus próprios ambientes ultra-limpos, mas estes são normalmente otimizados para oferecer eficiência e consistência, em vez de possibilidades ilimitadas de descoberta.

Pensemos nisso desta forma: as salas limpas industriais são como linhas de montagem de alta tecnologia, produzindo o mesmo produto aperfeiçoado em grande escala, enquanto as salas limpas de investigação são mais como laboratórios de inovação, onde cientistas podem experimentar, refinar e expandir os limites da tecnologia. Ambas são cruciais, mas apenas uma foi construída para a descoberta!



FOTOLITOGRAFIA

O próprio nome dá-nos algumas pistas: foto (que significa luz), lito (pedra) e grafia (escrita). Estas palavras de origem grega juntam-se para transmitir o significado do termo, que é *uma forma de impressão ou gravação de padrões numa superfície usando luz*. A fotolitografia tem inúmeras aplicações, incluindo a produção em grande escala de *microchips* para dispositivos eletrónicos.

Os fabricantes utilizam máquinas avançadas de fotolitografia para gravar circuitos integrados (também conhecidos como ICs, do inglês *Integrated Circuits*, ou «*chips*») em **wafers** de silício. E os e as engenheiras também estão a fazer experiências com fotolitografia para imprimir ADN em *wafers* de silício.

Esta técnica existe desde o século XIX. Naquela época, os fotógrafos revestiam placas de metal com «betume da Judeia», uma substância semelhante ao alcatrão utilizada como pigmento desde a antiguidade. Em seguida, expunham as placas de metal revestidas com betume à luz, através de um negativo. O betume exposto à luz endurecia, enquanto o betume não exposto permanecia macio. Após lavagem da placa, a imagem desejada permanecia na placa, pronta para impressão!

A fotolitografia contemporânea utiliza um processo semelhante, mas com novos materiais, máquinas e em locais muito específicos — as **salas limpas**.

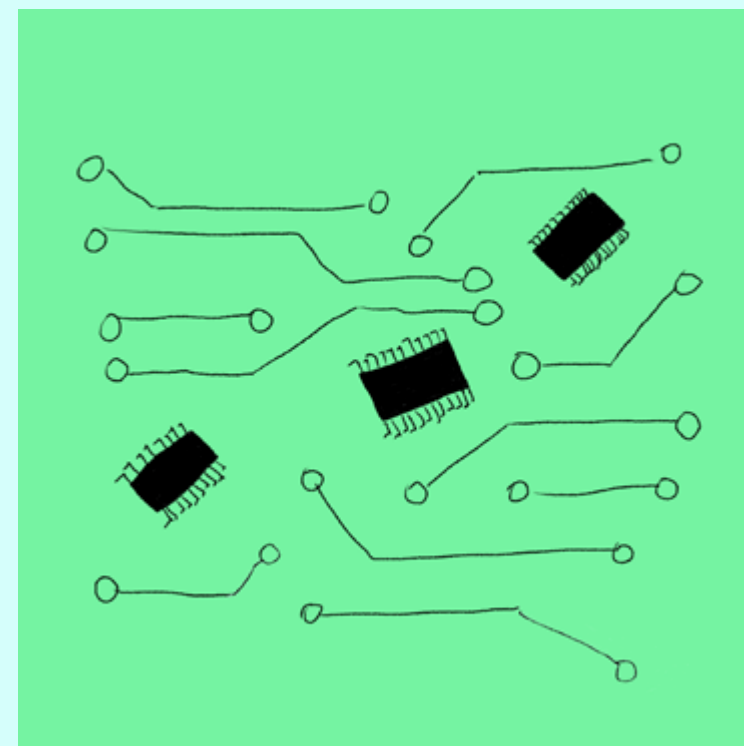
Vamos explorar como funciona a fotolitografia:

O processo começa quando se coloca um *wafers* de silício numa pequena máquina chamada «*spin coater*». Em seguida, algumas gotas de fotorresiste, um material sensível à luz, são adicionadas à superfície. Esta máquina gira o *wafers* muito rapidamente para obter um revestimento uniforme – tudo isto em 30 segundos! Após uma rápida cozedura numa máquina semelhante a um forno, a fina camada de fotorresiste endurece.

Em seguida, o *wafers* é inserido numa máquina de fotolitografia e o fotorresiste é exposto à luz. A maioria das máquinas requer a inserção de uma fotomáscara, que é uma placa que permite que a luz passe através de um padrão pretendido (como o negativo no nosso exemplo histórico). Em seguida, o *wafers* é colocado numa solução reveladora que remove o fotorresiste das áreas expostas.

Repetindo várias vezes as etapas de **deposição de filme fino**, fotolitografia e gravação, podem ser formadas estruturas multicamadas complexas que desempenham as funções eletrónicas desejadas exigidas no dispositivo projetado, como *chips* IC no núcleo de telemóveis ou quaisquer dispositivos eletrónicos modernos!

Uma ferramenta de fotolitografia de última geração pode custar dezenas de milhões de euros. Os e as engenheiras também estão a desenvolver técnicas mais rápidas e baratas, como a fotolitografia sem máscara, que dispensa a necessidade de fotomáscaras. Dos *smartphones* e dispositivos médicos aos biossensores e **sensores MEMS**, a fotolitografia molda o mundo à nossa volta, um padrão microscópico de cada vez!



SÍNTESE FOTOLITOGRÁFICA DE DNA

Como se pode ler na entrada intitulada «**fotolitografia**», este termo refere-se ao processo de utilização da luz para criar padrões numa superfície. Ora, a luz também pode ser utilizada para construir *microarrays* de ADN.

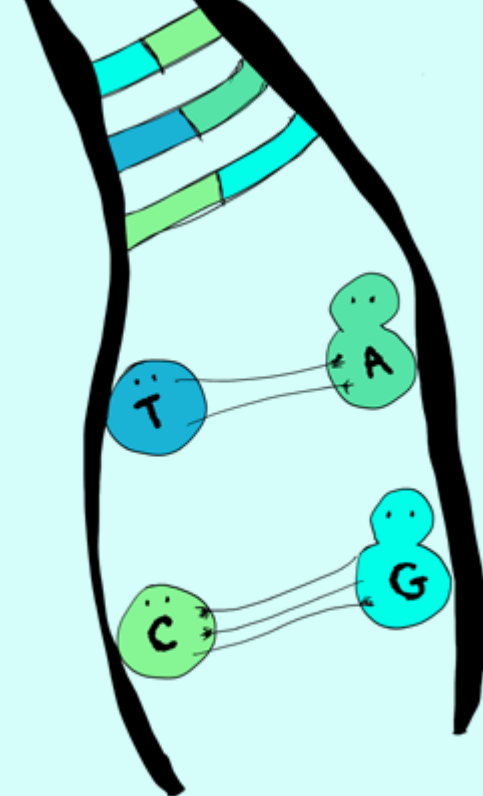
Um *microarray* é uma forma de diagnóstico que tem milhares de ADN, ARN ou proteínas organizadas num padrão, geralmente numa superfície de vidro ou substrato. Os *microarrays* são usados para analisar várias coisas ao mesmo tempo. Agora imaginemos que queremos construir um detetor microscópico, um biossensor, que possa identificar um pedaço específico de ADN de um vírus. Para fazer isso, precisamos criar uma pequena «armadilha» feita de uma sequência de ADN correspondente. Se o ADN alvo estiver presente numa amostra, ele ficará preso na armadilha e enviará um sinal.

A síntese fotolitográfica de ADN é uma maneira inteligente de construir milhões dessas diferentes armadilhas de ADN num único *chip* minúsculo. Funciona usando luz ultravioleta para «escrever» as sequências de ADN numa superfície através de acoplamentos consecutivos de nucleotídeos.

Um nucleótido é o bloco de construção básico do ADN e do ARN. O ADN é composto por quatro «letras» químicas: A, C, G e T. Para construir as armadilhas de ADN, essas letras precisam de ser adicionadas uma a uma. Cada letra vem com uma extremidade sensível à luz que atua como um bloqueador, impedindo que mais letras sejam adicionadas por cima. O acoplamento de nucleótidos é uma reação química que liga os nucleótidos entre si e à superfície funcionalizada onde as cadeias de ADN estão a ser «escritas».

O primeiro passo é preparar a superfície ou substrato, funcionalizando-o com moléculas especiais. É aqui que o primeiro nucleótido é acoplado à superfície, formando a primeira ligação de uma cadeia de ADN sintética. Em seguida, é utilizada uma técnica chamada fotolitografia sem máscara: o padrão desejado é programado num minúsculo dispositivo digital de microespelhos. Este dispositivo controla centenas de milhares de espelhos microscópicos, cada um dos quais pode ser inclinado individualmente para projetar luz UV no padrão correto.

Esta técnica de fotolitografia sem máscara é especialmente divertida! Imaginemos que estamos numa casa de espelhos com todas as luzes apagadas. De repente, as luzes acendem-se ao mesmo tempo que os espelhos se inclinam em diferentes direções, refletindo a luz em todas as direções. A experiência seria desorientadora (e talvez um pouco arrepiante).



Essa exposição aos raios UV remove certas extremidades sensíveis à luz de áreas específicas, deixando para trás apenas grupos hidróxilo ativados (fórmula química: -OH). Quando se volta a inundar a superfície com nucleótidos de ADN, estes ligam-se apenas aos grupos hidróxilo nos locais iluminados, e é assim que as cadeias de ADN começam a crescer.

Este processo é repetido até que uma sequência de ADN artificial seja construída num local preciso no *microarray*. Estas são chamadas de **ADN zip codes** (“códigos postais”) porque funcionam como um endereço postal, informando um analito onde ele está e como alcançá-lo!

Essas armadilhas de ADN são perfeitas para capturar outras moléculas de ADN, mas e se a molécula que queremos detetar não for ADN, mas uma proteína? Nesse caso, chamamos os anticorpos para a ação!

AUTOMONTAGEM GUIADA POR ADN SINTÉTICO

Tudo se resume a detetar moléculas: do nosso corpo, de outros animais ou produtos animais, do ambiente... o que quisermos! No mundo dos diagnósticos, muitas vezes precisamos de detetar um conjunto específico de moléculas: as proteínas.

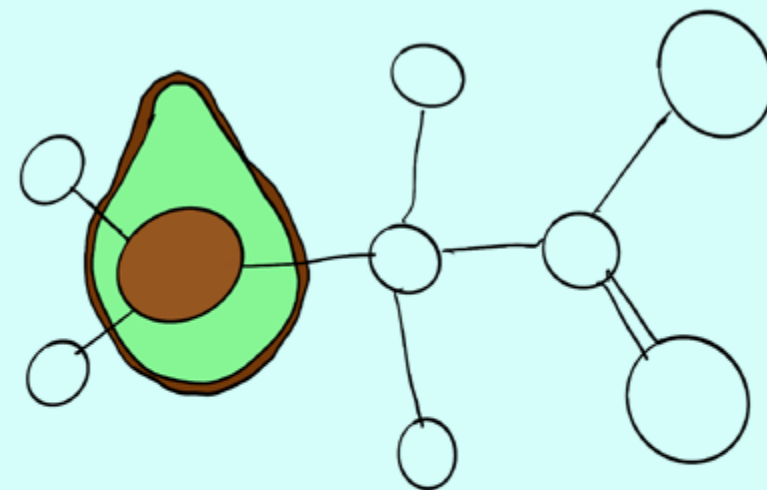
As proteínas são os cavalos de batalha da biologia. A sua presença ou ausência pode ser um marcador de uma doença, infeção ou contaminação. O desafio técnico é que, através da **fotolitografia**, a técnica utilizada para a síntese de ADN, as proteínas não podem ser detetadas; não pode ser utilizada para construir detetores de proteínas. Então, como podemos colmatar essa lacuna? Bem, é aqui que entram os **anticorpos**, as moléculas guiadas com precisão pelo sistema imunitário!

Para integrar anticorpos num *microarray* de ADN, é utilizado um processo sofisticado de duas partes. Cada tipo específico de anticorpo é quimicamente ligado a uma cadeia de ADN única e pré-concebida, que funciona como um «código de barras molecular». Pense em cada anticorpo como se vivesse numa rua com o seu próprio código postal. Os anticorpos que têm como alvo uma proteína cancerígena são enviados para a rua «A», enquanto aqueles que têm como alvo uma proteína viral são encaminhados para a rua «B». O código postal não altera a sua função, apenas facilita a sua localização e organização.

O *chip* de *microarray* é então construído usando fotolitografia. Em vez de construir sequências de ADN para capturar um determinado ADN, uma matriz de «sondas de captura» (chamadas «*zip codes*» ou códigos postais) é sintetizada na superfície do chip (consulte **síntese de ADN por fotolitografia** para obter mais informações sobre este processo). Esses *zip codes* são as sequências de ADN complementares aos códigos de barras. Assim, num local preciso do chip é construída a sequência que é a correspondência inversa perfeita para o código de barras «A» e noutro local é construída a correspondência para o código de barras «B». Isto cria uma grelha altamente organizada de milhares de estações de acoplamento únicas, cada uma à espera do seu código de barras de anticorpo correspondente.

Quando uma solução de anticorpos é introduzida no biossensor, os anticorpos dispersam-se e ligam-se às respetivas proteínas-alvo (se estiverem presentes). Esta mistura é então lavada sobre o *microarray*. Uma vez que as cadeias de ADN apenas se emparelham com os seus complementar precisos, cada anticorpo marcado é naturalmente atraído para o código postal correspondente na superfície do *chip*. Esta especificidade integrada garante que os anticorpos se auto-montem exatamente onde devem estar, tal como o correio chega em segurança à morada correta.

Como resultado, muitos anticorpos marcados com ADN diferentes podem organizar-se em paralelo, criando uma camada funcional altamente ordenada no *chip*. Tudo isto é guiado pelas regras inerentes ao emparelhamento de bases de ADN. Os eventos de ligação são projetados para gerar um sinal (ver **microrressonador acústico**). Ao ler as coordenadas desses sinais, o sistema pode identificar com precisão quais anticorpos encontraram os seus alvos e, muitas vezes, em que quantidade. O ADN sintetizado não captura proteínas diretamente. Em vez disso, desempenha o papel de casamenteiro e cartógrafo, guiando os anticorpos para os seus locais adequados, para que o mundo invisível das proteínas se torne visível, organizado e legível. Esta é a essência da biodeteção.



BIOFUNCIONALIZAÇÃO

Se nunca viu esta palavra antes, não se preocupe, não está sozinho/a.

Embora tenha surgido no início da década de 1980, não era muito utilizada até meados da década de 2000. Mesmo assim, apenas um grupo relativamente pequeno de cientistas de materiais, nanotecnólogos, engenheiros biomédicos, bioquímicos, engenheiros de tecidos e pessoas a trabalhar na investigação médica a utilizavam.

O facto é que o trabalho que essas pessoas têm feito nos últimos 30 anos significa que é um termo útil de se conhecer, especialmente porque os princípios da biofuncionalização têm uma ampla gama de aplicações, incluindo biossensores, regeneração de tecidos, implantes médicos e dentários, administração de medicamentos (métodos de administração de medicamentos a seres humanos e outros animais) e até mesmo remediação ou limpeza ambiental. Por exemplo, a biofuncionalização de materiais como o *biochar* (uma forma de carvão vegetal) pode tornar mais eficiente a absorção, degradação, sequestro ou remoção de poluentes nocivos.

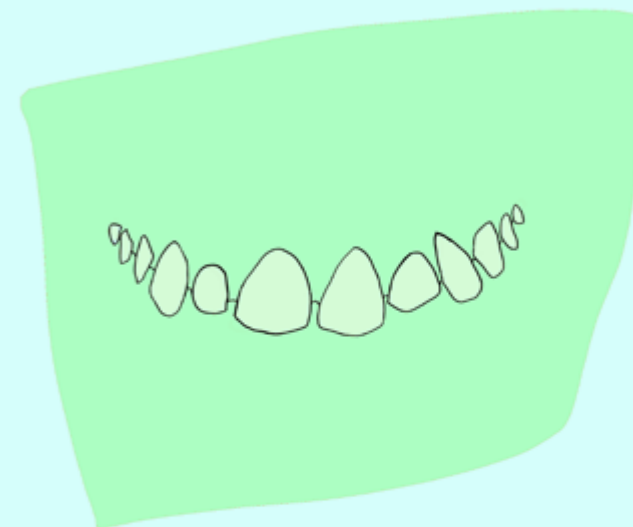
Esta palavra tem duas partes, por isso vamos analisá-la, começando pela parte mais complicada, a *funcionalização*. Este termo complexo refere-se ao processo de modificação da superfície de um material para adicionar propriedades ou capacidades novas ou diferentes com um objetivo específico em mente. É como começar com um carro, pintar de forma personalizada e instalar luzes LED para... bem... ficar com um aspeto fixe.

Não é um bom exemplo? Vamos adicionar a *bio* (para biologia) e falar sobre ossos.

Imaginemos que tem um osso partido e precisa de um implante de titânio. O titânio é muito mais rígido do que o osso, o que constitui um problema. Essa incompatibilidade pode causar blindagem de tensão óssea (um tipo de perda de densidade óssea), pois o implante de titânio absorve mais carga do que o próprio osso, enfraquecendo-o e afrouxando o implante. Isso não é bom, especialmente para pessoas mais velhas que podem ter já problemas de densidade óssea. Os e as investigadoras descobriram que tornar o titânio poroso pode reduzir essa incompatibilidade de rigidez. Uma vez alcançada a estrutura correta usando técnicas físicas e mecânicas, o implante pode ser biofuncionalizado. Isso implica alterar a sua superfície para que interaja melhor com o ambiente biológico dentro do corpo e reduza alguns dos problemas de saúde causados pelos implantes de titânio tradicionais.

No projeto BIOASSEMBLER, os e as investigadoras devem biofuncionalizar a matriz de sensores (***sensor array***) para anexar nucleótidos (os blocos básicos de construção do ADN e do ARN) à superfície do sensor usando a ***síntese fotolitográfica de ADN***. Este é um passo importante para a eventual ligação de anticorpos ao sensor que, como se deve lembrar, irá capturar os ***analitos***-alvo!

Em vez de biofuncionalizar um único *chip* de cada vez, o objetivo mais amplo deste projeto foi desenvolver uma maneira de biofuncionalizar ***wafers*** inteiros de uma só vez, reduzindo custos e permitindo a produção em massa de chips ***bioMEMS***. Essa tecnologia *ainda* não existe, mas esteja atento e veja se consegue identificar materiais biofuncionalizados à sua volta.



DEPOSIÇÃO DE FILME FINO

Já pintou as paredes de um quarto? Talvez conheça a experiência angustiante de esperar que a tinta seque? Ou talvez tenha ignorado a etapa do primário, apenas para se desiludir com camadas de tinta descascadas?

A deposição de filmes finos é um processo semelhante à aplicação de camadas de tinta numa parede, onde cada camada acrescenta algo novo e útil. Em microfabricação, é uma técnica para adicionar camadas muito finas de material a uma bolacha (**wafers**) de silício. Estas camadas podem alterar o comportamento da superfície, por exemplo, tornando-a mais condutora, mais isolante ou mais resistente ao desgaste. A deposição de filme fino não é uma etapa única, mas parte de um ciclo repetitivo: em primeiro lugar, é depositada uma camada fina; em seguida, é definido um padrão utilizando **fotolitografia**; e, por fim, as áreas selecionadas são removidas por decapagem. Este ciclo de deposição, padronização e decapagem é repetido várias vezes para construir estruturas complexas camada a camada.

Apesar do nome complexo, a deposição de filme fino é uma área entusiasmante de investigação e inovação. Oferece métodos acessíveis e eficazes para alterar as propriedades de componentes utilizados em microengenharia (*design* e construção em **microescala**). O melhor de tudo é que, ao contrário da tinta (que adere à superfície da parede), a deposição de filme fino permite a integração monolítica das camadas no *chip* integrado subjacente! Por outras palavras, todas as camadas – incluindo o circuito integrado e as camadas de filme fino – são fabricadas sobre o mesmo substrato de silício.

Existem duas abordagens principais para a deposição de filme fino: a química e a física. Nas abordagens químicas, a deposição depende de reações químicas entre um substrato aquecido e o filme. Nas abordagens físicas, as camadas do filme fino são depositadas fisicamente sobre o substrato.

Um dos objetivos do consórcio BIOASSEMBLER era desenvolver uma nova tecnologia de deposição de filme fino de ScAlN* – acreditem se quiserem – para *depositar microressonadores acústicos no chip que se tornará o biossensor!* *ScAlN significa *Scandium-doped Aluminum Nitride*, que em português se pode traduzir como Nitreto de Alumínio Dopado com Escândio.

Apertem os cintos, amigas e amigos, é assim que funciona:

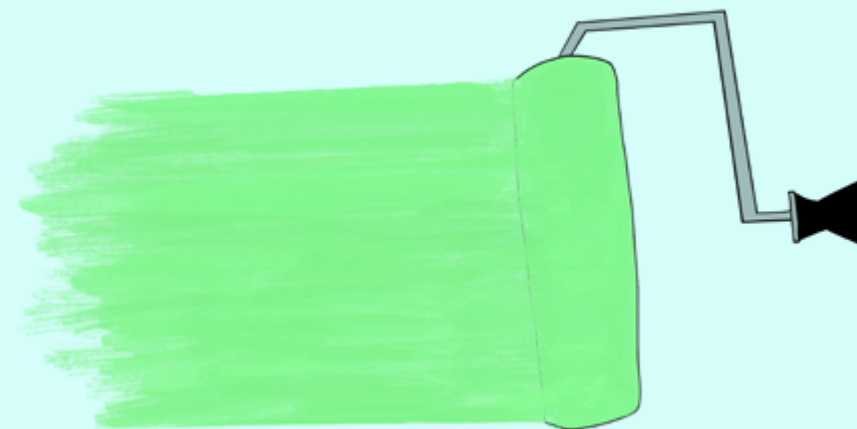
1. O nitreto de alumínio dopado com escândio possui propriedades especiais (já que insistem, tem propriedades piezoelétricas) que o tornam durável a altas temperaturas e facilitam a geração de carga elétrica em resposta a tensões mecânicas.

2. O pessoal do Centro de Investigação Técnica VTT, na Finlândia, produziu microressonadores acústicos utilizando filme fino de ScAlN.

2. Isto envolve a construção gradual de microrressonadores acústicos utilizando máquinas avançadas, uma fina camada de ScAlN de cada vez, até que a arquitetura acústica esteja completa. (*Psst!* Tudo isto acontece sobre o circuito integrado, que é gravado primeiro na bolacha).

3. Através deste processo de fabrico, são produzidos *wafers* (as bolachas) que contêm as matrizes de sensores (**sensor arrays**) de microrressonadores acústicos, todos integrados num único chip sem emendas (também conhecido como futuro biossensor).

Pronto! Não é magia, mas sim microengenharia na sua forma mais refinada. Mas este pequeno biossensor ainda não está pronto; existem etapas a percorrer, incluindo a ligação química do primeiro nucleótido utilizando a **síntese fotolitográfica de ADN** para criar uma sequência que funcionará como um código postal de ADN (ou **ADN zip code**).



MICROFLUÍDICA

Aqui está algo em que talvez não pense todos os dias: os líquidos não se comportam da mesma forma na microescala e na macroescala (*Psst!* Confira **escala**, se ainda não o fez).

Quando pensamos em líquidos como a água, podemos imaginar riachos sinuosos, rios caudalosos ou cascatas com água caindo de grandes alturas. Ou talvez prefira imaginar gotas de café a encher a sua caneca matinal? Em ambos os casos, a gravidade, aquela força familiar que puxa para baixo, em direção ao centro da Terra, garante que os rios fluam sempre descendo as colinas, e não subindo, e que a sua xícara⁴ seja meticulosamente cheia com café expresso.

No entanto, na microescala, os líquidos podem até fluir *contra a gravidade*! Sim, leu bem.

Os e as engenheiras de microfluídica podem construir canais mais finos do que uma folha de papel, nos quais as forças adesivas entre as paredes do canal e o fluído, e a tensão superficial de volumes minúsculos de líquido, são juntas fortes o suficiente para superar a gravidade. Este é o mesmo princípio que permite que os insetos aquáticos andem sobre a água. Há a lua e, depois, há a microescala!

Assim como os e as engenheiras de infraestrutura hídrica constroem canais, bombas e sistemas de drenagem para gerir o fluxo de água na terra e nas cidades, os e as engenheiras de microfluídica projetam e constroem sistemas microfluídicos completos com canais microscópicos, válvulas, misturadores, bombas e drenos que permitem que pequenos volumes de líquido fluam, se misturem, reajam e, eventualmente, sejam descartados. Toda essa ação ocorre no que é chamado de *chip* microfluídico. Normalmente, são feitos de silício transparente ou vidro gravado por **fotolitografia**. Existem também outros métodos para a construção de arquiteturas micrométricas, como a impressão 3D.

Pensemos num *chip* microfluídico como um circuito em miniatura, mas para fluídos em vez de eletricidade. Pequenas quantidades de líquido movem-se através de canais e câmaras microscópicas, mas tudo num plano!

Os avanços na engenharia microfluídica estão entre as inovações críticas que permitem a fabricação em grande escala de dispositivos de diagnóstico miniaturizados, como biossensores e dispositivos **lab-on-a-chip**. Como os sistemas microfluídicos são muito pequenos, é relativamente fácil e económico fabricar muitos ao mesmo tempo, apesar da complexidade de engenharia envolvida no seu design.

⁴ Xícara, em português, para xícara de café expresso, do nahuatl, *xikáli*, vaso umbilical.

Além dos biossensores, os sistemas microfluídicos podem ser usados para diagnósticos médicos, análise de células únicas (o estudo de células sanguíneas biológicas individuais), desenvolvimento e teste de medicamentos, modelação de doenças e muito mais.

Isto é algo em que vale a pena pensar!



3. Aplicações

**BIOSSEN-
SORES
NO MUNDO
REAL**

POINT-OF-NEED, POINT-OF-USE E POINT-OF-CARE

O desenvolvimento de novas tecnologias envolve muito jargão e um caminho cheio de obstáculos. Antes que um novo produto chegue ao mercado, é necessário realizar muitos testes, aperfeiçoamentos e planejamento. É aí que entra a ideia de *exploração*: trabalhar não apenas na ciência, mas também em como torná-la relevante, fazendo uso concreto dos resultados da investigação para fins comerciais, sociais ou mesmo políticos.

Os organismos de financiamento científico exigem frequentemente um plano de exploração para garantir que as descobertas científicas não fiquem apenas no papel, mas que realmente façam a diferença — em clínicas, fábricas, nas nossas casas ou comunidades.

Para imaginar esse cenário na **biotecnologia**, pensemos na diferença entre uma experiência gastronômica sofisticada e preparar comida na nossa cozinha. Os testes laboratoriais tradicionais são como um restaurante de luxo: precisos e especializados, mas distantes do dia-a-dia. O *point-of-care* (PoC) é mais como uma refeição entregue à nossa porta: conveniente, personalizada e pronta quando precisamos. O *point-of-use* (PoU) é como cozinhar o nosso próprio prato, simples, usando o que está disponível no frigorífico. O *point-of-need* (PoN) é o mais direto de todos: é como reunir o que precisamos do nosso ambiente quando o momento exige. Estas três abordagens partilham uma ideia: aproximar os testes e as análises das pessoas e dos locais que mais precisam deles.

As tecnologias *point-of-care* (PoC) já estão a transformar os cuidados de saúde. Hoje em dia, não é tão comum ter de esperar dias pelos resultados das análises ao sangue provenientes de um laboratório central. A maioria das clínicas dispõe de pequenos dispositivos portáteis com **chips microfluídicos** que requerem uma pequena quantidade de sangue e apresentam os resultados em poucos minutos. Depois, há os autotestes, que qualquer pessoa pode fazer em casa: tiras de teste de glicemia ou testes de gravidez. Esses dispositivos permitem que qualquer pessoa tenha fácil acesso a um diagnóstico, monitorize a sua saúde e tome decisões rápidas e informadas.

As tecnologias *point-of-use* (PoU) estendem essa utilidade para além da medicina. Diferentes tipos de sensores (incluindo biossensores) podem ser incorporados em sistemas que sustentam as nossas vidas: verificando a qualidade da água, controlando o ar dentro de edifícios (hospitais, instalações de produção, as nossas casas) ou mantendo as linhas de produção industrial seguras e eficientes. Aqui, a biotecnologia integra-se discretamente no segundo plano, tornando os nossos ambientes mais limpos e os nossos processos mais inteligentes, sem que sequer percebamos.

Os testes *point-of-need* (PoN) unem esses mundos. São testes que podem ser realizados em qualquer lugar — no campo, numa fábrica ou no local de uma emergência — usando dispositivos pequenos, adaptáveis e de baixo custo que fornecem respostas instantâneas. Exemplos incluem testes para micotoxinas em locais de produção e armazenamento de grãos, testes de drogas na saliva de motoristas, ou testes de antibióticos no leite.

Os avanços na biotecnologia, ciência dos materiais e tecnologia digital estão a tornar essas ferramentas cada vez menores, mais rápidas e fáceis de usar.

O projeto BIOASSEMBLER contribuiu para a expansão dos dispositivos de teste PoN, desenvolvendo um novo processo de **biofuncionalização**. O novo biossensor foi desenvolvido num exemplo do mundo real: a deteção de **biomarcadores** inflamatórios — indicadores-chave da resposta do corpo à infeção e recuperação. Esta aplicação de prova de conceito encaixa-se bem no crescente mercado PoC e dá uma ideia do futuro dos testes de diagnóstico rápido.



BIOSENSORES PARA A SAÚDE

Existem muitos projetos em todo o mundo que visam construir biossensores para aplicações na saúde humana (consulte a entrada sobre **saúde**). Mas criar um biossensor novo é um desafio incrível. Envolve pensar em dimensões **éticas**, financeiras e outras, e requer uma quantidade significativa de tempo, investimento e pesquisa, muitas vezes realizada por meio de **parcerias** e **consórcios**.

O projeto BIOASSEMBLER é um desses projetos que visou construir um biossensor *multiplex* baseado em imunologia que usa anticorpos para detetar biomarcadores em amostras biológicas líquidas. Estes incluem a proteína C reativa e a amilóide sérica A, dois marcadores inflamatórios que, quando detetados precocemente, podem fazer a diferença entre um diagnóstico de sépsis que salva vidas e uma longa estadia no hospital (ou pior).

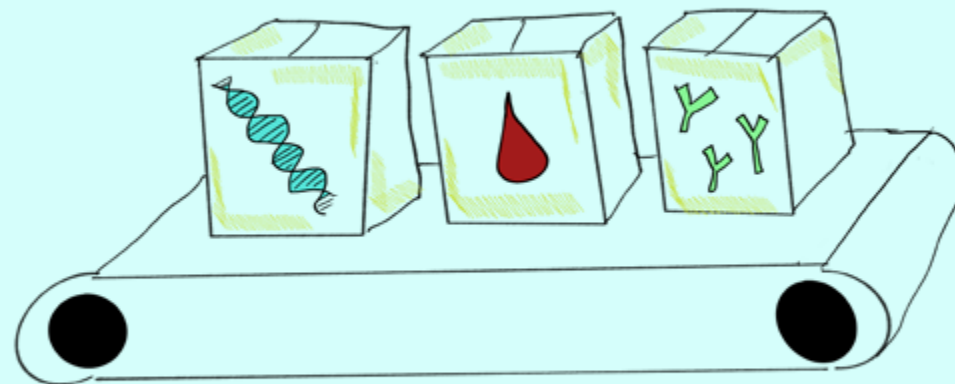
O objetivo do projeto BIOASSEMBLER foi levar esta nova tecnologia à fase de prova de conceito. Isto significa que este biossensor não estará disponível nos consultórios médicos tão cedo, mas poderá entrar em produção em breve.

Existem muitos obstáculos no processo de criação de um biossensor para fins de saúde humana, especialmente garantir que os dispositivos sejam sensíveis, seletivos (detetem apenas o que foram projetados para detetar) e estáveis (tenham um desempenho consistente). A comercialização de biossensores também requer conformidade regulatória para garantir a qualidade e a segurança do biossensor. Isso, no entanto, cria encargos financeiros e laborais adicionais para os produtores. A carga regulamentar aumenta com a invasividade do biossensor (como biossensores *in vivo* ou implantáveis) e os riscos potenciais de mau funcionamento do dispositivo.

Do lado do paciente, utilizador ou consumidor, existem riscos para a monitorização contínua da saúde com tecnologias de biossensores, especialmente em relação à grande quantidade de dados que esses dispositivos recolhem e como esses dados serão armazenados e, em última análise, utilizados. A propriedade dos dados também é uma questão: quem é o proprietário dos nossos dados pessoais de saúde e que abordagem deve ser adotada em relação a usos não previstos? Para mais informações sobre este tema, incluindo questões de privacidade e vigilância, consulte **dados e privacidade** (e **quantificação**).

Estes procedimentos éticos e regulamentares tornam *muito* difícil a chegada de um novo produto ao mercado. Mesmo nos melhores casos, pode levar entre 7 e 10 anos para um biossensor chegar à comercialização. Ainda assim, não há garantias: um biossensor pode «falhar» a qualquer momento.

O fracasso, claro, pode ser simplesmente um trampolim para o sucesso, especialmente no mundo da ciência e da tecnologia, onde todos nós nos apoiamos nos ombros de gigantes!



SAÚDE

Algumas das aplicações mais incríveis dos biossensores estão na área da saúde humana. Entre elas estão os biossensores para diagnósticos *in vitro* (testes realizados em amostras como sangue, saliva ou urina), biossensores de monitorização contínua, biossensores implantáveis e que se podem vestir ou usar e biossensores ***point-of-care*** (testes rápidos para uso doméstico ou em consultórios médicos).

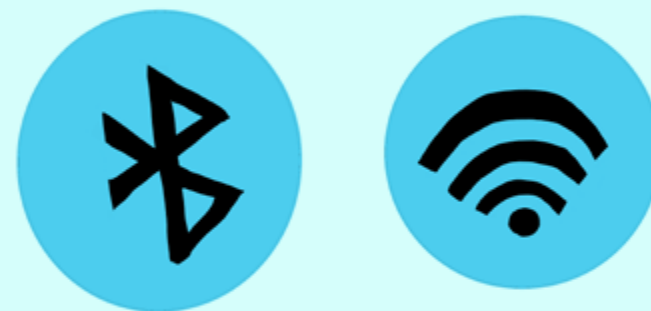
Os biossensores que se podem vestir ou usar, em particular, podem parecer saídos de um mundo futurista, mas já estão a tornar-se parte do nosso quotidiano. Podem ser integrados em *smartwatches*, roupas, óculos, adesivos cutâneos e, um dia, talvez até tatuagens. São especialmente úteis para monitorização do bem-estar e do desempenho desportivo, como acompanhar os níveis de hidratação de uma pessoa. Fique atento aos atletas de alto rendimento e poderá ver um colete por baixo das suas camisolas — provavelmente terá incorporado um biossensor. Todos estes biossensores são concebidos com o mesmo objetivo: monitorizar a nossa condição física em tempo real, em qualquer lugar e a qualquer momento.

Ainda mais futuristas são os biossensores implantáveis. Sim, é isso mesmo, os biossensores podem ser implantados nos nossos tecidos para monitorizar continuamente a nossa saúde. Este desenvolvimento foi impulsionado pelo aumento da diabetes em todo o mundo, combinado com os avanços na aprendizagem automática e no processamento de dados. Hoje em dia, existem muitas soluções diferentes para monitorizar continuamente a glicose, incluindo a implantação de um sensor no corpo, normalmente na barriga, no peito ou no braço.

Também existem biossensores de saúde disponíveis para autoteste. Estes incluem tiras de teste para medir a glicose ou o lactato a partir de uma picada no dedo, testes de gravidez, bem como testes que detetam diferentes biomarcadores a partir da urina ou da saliva. A maioria das pessoas familiarizou-se com este tipo de autotestes durante a pandemia de COVID-19, que levou à explosão de testes rápidos para o coronavírus e outros vírus infecciosos.

A combinação da comunicação sem fios com a redução do tamanho dos dispositivos para a microescala, as inovações na ***fabricação biointeligente***, a ***microfluídica***, a ***síntese de ADN*** e técnicas mais avançadas descritas neste livro abrem as portas para inúmeras aplicações. Desde a gestão facilitada de uma doença crónica, como a diabetes, até ao diagnóstico precoce de doenças cardiovasculares por meio de monitorização contínua, os biossensores provavelmente terão impacto

em muitas dimensões da saúde humana e dos cuidados de saúde nos próximos anos. Em geral, os biossensores têm o potencial de remodelar radicalmente o panorama dos cuidados de saúde, levando a diagnósticos mais rápidos, possibilidades de investigação alargadas e cuidados de saúde personalizados e preventivos. Ao mesmo tempo, existem vários desafios, sobre os quais pode ler na entrada **biossensores para a saúde**.



ALIMENTAÇÃO

Os alimentos têm a capacidade de nos fornecer os nutrientes e a energia necessários para o crescimento, reparação e saúde em geral, além de criarem memórias duradouras. Mas precisam de ser seguros e livres de contaminantes nocivos. Afinal, ninguém quer que o jantar venha com agentes patogénicos indesejados ou que acabe numa visita ao hospital! Numa cadeia de abastecimento alimentar cada vez mais global e complexa, infelizmente, este é um desafio significativo. É aqui que entram os biossensores: podem ser utilizados para monitorizar e testar os alimentos, garantindo que são seguros para o consumo.

A segurança alimentar é uma área vasta que engloba a produção, colheita, manuseamento e preparação seguros dos alimentos em casa ou em restaurantes. Como muitos dos alimentos que consumimos hoje em dia chegam até nós através de longas cadeias de abastecimento internacionais, a segurança alimentar também se refere à segurança dos alimentos durante o seu processamento, embalagem, transporte, distribuição e armazenamento. Para complicar ainda mais a situação, a intensa concorrência entre os produtores deu origem a fraudes alimentares. Sim... infelizmente, a fraude alimentar é comum na União Europeia em muitos setores, como o marisco, a carne, as bebidas e o mel. E pode assumir muitas formas, todas com o objetivo de obter lucro financeiro: os alimentos podem ser rotulados incorretamente, diluídos, colocados em embalagens baratas e assim por diante. Acontecimentos como o escândalo de 2013, em que carne de cavalo foi vendida como carne de bovino, estimularam o interesse no desenvolvimento de biossensores para a segurança alimentar.

Os biossensores são particularmente adequados para monitorizar a segurança alimentar durante as fases iniciais da produção, bem como em produtos alimentares finais vendidos em lojas. Podem ser utilizados para detetar níveis elevados de antibióticos no leite e na carne; toxinas perigosas ou mortais nos bivalves; pesticidas e disruptores endócrinos; patogénicos e vírus; fungos tóxicos naturais nos grãos, sementes e nozes. Ou para determinar se o nosso mel, azeite e canela não foram misturados com xaropes de açúcar, óleos vegetais mais baratos ou canela de qualidade inferior (ou pior).

Os biossensores de papel próprios para contacto com alimentos também poderiam ser integrados nas embalagens de alimentos para ajudar os consumidores a saber se o alimento é seguro para consumo. Mais precisas do que as datas de validade fixas, as embalagens de alimentos “ativas” ou “inteligentes” com biossensores integrados poderiam mudar de cor para indicar se o frango ainda está bom ou se já está na altura de o deitar fora. Uma das principais motivações para a introdução destes biossensores de baixo custo, simples e fáceis de

utilizar, instalados no ponto de necessidade (*point-of-need*), é reduzir o desperdício alimentar, auditar as cadeias de abastecimento e proteger a segurança e a confiança do consumidor.

Os biossensores oferecem às empresas multinacionais de alimentos e às autoridades nacionais de segurança alimentar uma ferramenta para detetar fraudes alimentares de forma mais eficaz em termos de custos. As iniciativas de **Ciência Cidadã** podem também expandir as futuras aplicações dos biossensores na monitorização de alimentos. Ao incluir os pequenos produtores e consumidores na cadeia alimentar, desde a base, podem ser identificadas novas ideias para os biossensores, impulsionadas por prioridades e preocupações distintas das dos grandes intervenientes da indústria. Além disso, existem soluções para os problemas de fraude alimentar que não exigem investimento em mais tecnologia, mas sim em pessoas que percebem de alimentos.



AMBIENTE

O que lhe vem à cabeça quando pensa em ambiente? Para muitas pessoas, a primeira coisa que lhes vem à cabeça pode ser a natureza: florestas tranquilas, a costa ventosa ou parques nacionais. Mas o ambiente engloba tudo o que nos rodeia: o ar que respiramos, a água que bebemos e tudo o que encontramos no nosso dia-a-dia.

Assim, quando pensamos em biossensores para o ambiente, as aplicações são tão abrangentes como as da saúde e da alimentação – e, ao mesmo tempo, estão interligadas a estas áreas. A interdependência entre a saúde humana, a dos outros animais e a dos ecossistemas é reconhecida há muito tempo, inspirando o conceito de “Uma Saúde”. Será que os biossensores poderão ser uma ferramenta para a monitorização ambiental e a proteção de Uma Saúde? Será que **cidadãos cientistas** poderiam utilizar estas ferramentas de deteção rápida para investigar o ambiente que os rodeia e responsabilizar os agentes poluidores?

Vamos analisar algumas das ideias e inovações:

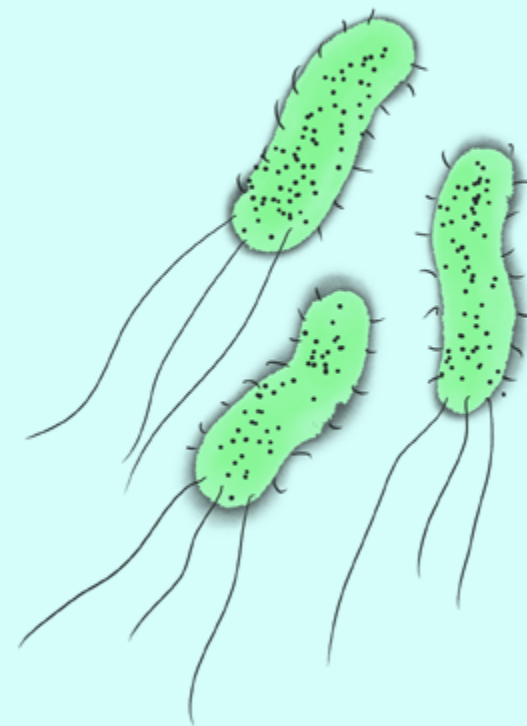
No que diz respeito à água, estão a ser desenvolvidos biossensores para detetar a presença de metais pesados, produtos químicos e agentes patogénicos (como *E. coli*, uma bactéria que pode causar doenças graves em vários animais, incluindo os humanos). Já existem ferramentas para monitorizar e detetar contaminantes na água; no entanto, são geralmente encontradas em laboratórios. Isto significa que as amostras têm de passar por um processo demorado, trabalhoso e dispendioso antes de serem analisadas. O objetivo de um biossensor é avaliar de forma rápida e contínua a qualidade da água para consumo humano, o uso agrícola e a saúde do ecossistema.

Da mesma forma, os biossensores poderiam ser utilizados para monitorizar poluentes no ar, como compostos orgânicos voláteis provenientes de produtos de limpeza doméstica, tintas, carpetes e cosméticos. Também poderiam ser utilizados para monitorizar o monóxido de carbono, metais pesados e agentes patogénicos transmitidos pelo ar, como os que causam a gripe ou a tuberculose. Redes de biossensores conectados que monitorizam continuamente a qualidade do ar poderão ser úteis em parques de estacionamento (onde se acumulam gases tóxicos), em áreas urbanas, dentro de casas e locais de trabalho, e também em locais públicos com grande concentração de pessoas, como hospitais ou centros comerciais.

Existem também aplicações menos antropocêntricas para os biossensores no ambiente. Após um incêndio florestal, os biossensores nas árvores poderiam ser utilizados para determinar se uma árvore está viva ou morta e, portanto, se deve ser cortada ou não. Os biossensores implantados (*in vivo*) em plantas que monitorizam continuamente os

níveis de glicose não são apenas úteis para o estudo do metabolismo das plantas, mas poderão um dia ser capazes de monitorizar a saúde das plantas para detetar sinais precoces de *stress* – seja por calor, poluição ou agentes patogénicos.

Considerando que a produção, o uso e o descarte de tecnologia (“lixo eletrónico”) são uma fonte significativa de poluição ambiental, é fundamental que os biossensores para monitorização ambiental (e todas as suas aplicações) sejam analisados criteriosamente quanto às suas implicações **éticas** e de **sustentabilidade**. O envolvimento do público em geral na inovação de biossensores, através de compromissos com a **Ciência Aberta** e iniciativas de Ciência Cidadã, pode também ajudar a garantir que estas ferramentas são acessíveis a quem delas necessita e não agravam ainda mais a exclusão digital.



CIÊNCIAS FORENSES

Se acredita em tudo o que vê na TV (o que não é recomendável), então a Ciência Forense é uma atividade gloriosa, heroica e, ousemos dizer, até *sexy*.

A realidade é bem diferente daquela idealizada. Mas isto não diminui a importância da Ciência Forense como área em que os métodos científicos são aplicados para abordar questões jurídicas. Cientistas forenses utilizam instrumentos, exames e técnicas para identificar vestígios. Os fluidos corporais (sangue, urina, saliva, sémen, etc.) são frequentemente utilizados por estes especialistas para testes de ADN. Outras substâncias encontradas em locais de crime, sejam líquidas ou sólidas, são também testadas para determinar a sua composição ou origem. Será que os biossensores poderão oferecer aos técnicos de locais de crime mais uma ferramenta para a análise de vestígios? Se os biossensores podem ajudar as pessoas a monitorizar a sua **saúde** em vida, quais seriam as suas aplicações *post-mortem*?

Apesar de ainda não ser uma área de foco principal para a investigação de biossensores, estão a ser desenvolvidos inúmeros biossensores para analisar fluidos corporais, desde o sangue ao suor e até mesmo às lágrimas. Isso mesmo. Lágrimas. (Imagine usar um par de óculos com um biossensor incorporado na plaqueta nasal para monitorizar biomarcadores nas suas lágrimas. Pelo menos da próxima vez que chorar muito aprenderá algo sobre a sua saúde!). Esta vasta gama de biossensores de fluidos corporais poderia ser adaptada do contexto da saúde para satisfazer as necessidades de cientistas forenses.

Mas espere lá! É aqui que entram as **Ciências Sociais e Humanas** (CSH). Uma coisa é construir um biossensor com a intenção de o utilizar na área forense. Outra coisa completamente diferente é fazer com que um dispositivo seja de facto aceite, validado e incorporado nos processos de recolha de provas num determinado país. Uma boa tecnologia pode falhar sem uma visão mais abrangente do contexto social, económico, político, cultural e, neste caso, jurídico em que poderá ser utilizada.

O **consórcio** BIOASSEMBLER incluiu esta questão na sua agenda de investigação. E a resposta é que podemos identificar dois pontos importantes sobre a aplicação dos biossensores na ciência forense:

1. As novas tecnologias enfrentam o seu próprio teste antes de serem aceites ou padronizadas (ou mesmo rejeitadas) pelas comunidades jurídicas, o que pode levar anos.
2. Os técnicos de perícia criminal portugueses estão particularmente interessados em biossensores que possam ser utilizados à chegada a um local de crime (o ponto de necessidade ou **point-of-need**) para identificar rapidamente substâncias desconhecidas que possam ser perigosas.

E depois precisamos de considerar todas as pessoas que precisariam de aceitar, validar e aprovar um biossensor antes deste poder ser utilizado na perícia forense, sem mencionar as questões de custo e reutilização do dispositivo. Desde as instituições nacionais e internacionais aos tribunais, aos juízes e ao sistema jurídico, há muitas pessoas que precisam de se envolver.

Biossensores para ciência forense? Sem dúvida — só que não é assim tão simples. A aplicação mais básica nesta área seria como uma ferramenta de utilização imediata que os técnicos da cena do crime poderiam utilizar para testar rapidamente substâncias desconhecidas (mas não para produzir provas para o tribunal).



4. Colaboração

**CONHECI-
MENTO,
ÉTICA E
SOCIEDADE**

CONSÓRCIO

A ciência é um desporto coletivo, mas em vez de uniformes, cânticos ou mascotes, vestimos batas de laboratório, saímos para trabalho de campo e formamos consórcios!

Um consórcio é um grupo de parceiros ou uma associação que trabalha em prol de um objetivo comum. São especialmente importantes para a forma como a investigação é organizada e financiada na União Europeia.

Os consórcios podem incluir universidades, centros de investigação públicos e privados, laboratórios e empresas. Normalmente, os consórcios são formados em resposta a um convite para apresentação de propostas de investigação. Nestes convites, um financiador divulga uma questão, um problema ou uma necessidade. Estes podem assumir muitas formas diferentes, mas geralmente convidam indivíduos ou equipas de investigação a apresentar propostas de projetos sobre temas específicos. Se e quando uma proposta de investigação é avaliada positivamente, os investigadores e as instituições podem receber financiamento sob a forma de uma bolsa para realizar a investigação proposta.

Existem muitos tipos de financiadores, incluindo governos nacionais ou locais, instituições públicas e privadas (como universidades ou museus), fundações e muito mais. Na União Europeia, a Comissão Europeia é um importante financiador da investigação e inovação, nomeadamente através do programa Horizonte Europa.

O Horizonte Europa está particularmente empenhado em promover a colaboração, razão pela qual a maioria dos financiamentos exige que os investigadores formem consórcios. Estes podem ser muito grandes (pense em 36 parceiros de 19 países) ou muito mais pequenos. O consórcio BIOASSEMBLER, do qual este mesmo livro faz parte, inclui seis parceiros de quatro países: Finlândia, Áustria, Alemanha e Portugal.

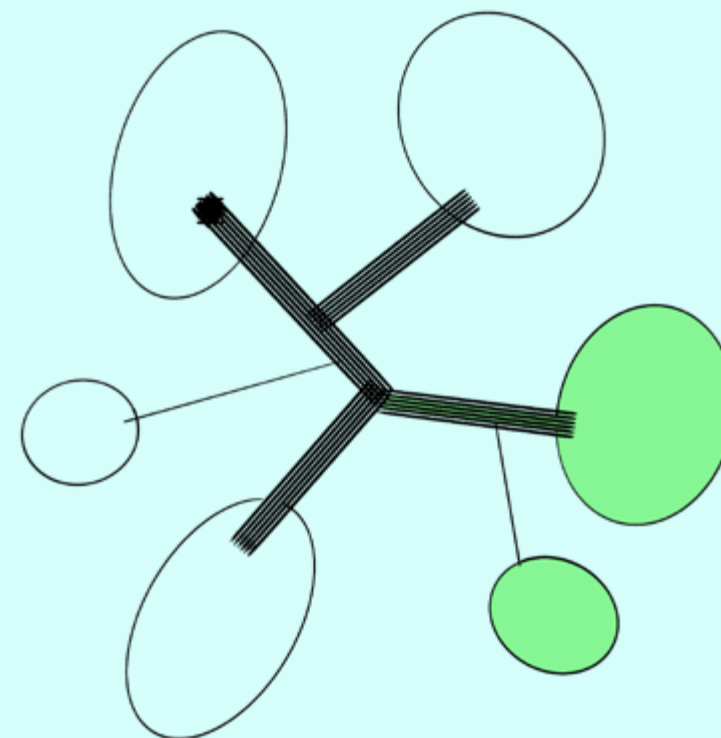
Como é que os investigadores e as empresas formam consórcios?

Um fator fundamental a considerar são os critérios de avaliação de cada linha de financiamento. Por exemplo, ter parceiros de consórcio espalhados pela Europa (e além) pode tornar uma candidatura mais forte. Outros critérios, como a igualdade de género, a interdisciplinaridade e a diversidade de conhecimentos especializados, não só aumentam as hipóteses de sucesso, como também conduzem a uma investigação mais sólida e a melhores soluções para desafios sociais e técnicos complexos.

A verdade é que não existe uma única forma de formar um consórcio. No entanto, a rede de conhecimentos (ou *networking*) desempenha um papel importante. Em eventos de «*matchmaking*»

ou «*brokerage*» e em conferências académicas, os e as investigadoras encontram-se, partilham ideias e exploram novas oportunidades de projetos. As conexões pessoais são frequentemente complementadas por redes digitais e pelo conhecimento informal compartilhado boca a boca dentro das comunidades de investigação. Porque uma parte importante do trabalho de investigação é **comunicar** o que se faz, seja em conferências, revistas e livros — ou durante um café!

Idealmente, cada parceiro de consórcio traz conhecimentos únicos e especializados. Muitas vezes, os consórcios são compostos por investigadores de diferentes disciplinas, que se unem para criar algo que é mais do que a soma das suas partes.



Ciências Sociais e Humanas (CSH)

Se está a perguntar-se o que as Ciências Sociais e Humanas estão a fazer num livro sobre biossensores e **biotecnologia**, provavelmente não será a única pessoa.

Embora possa parecer uma combinação improvável à primeira vista, os conhecimentos e a experiência das Ciências Sociais e Humanas (CSH) podem desempenhar um papel importante na biotecnologia e, de forma mais ampla, na inovação em ciência, tecnologia, engenharia e matemática (STEM). Tal como no consórcio BIOASSEMBLER.

Começando pelo básico, as Ciências Sociais e Humanas incluem uma enorme variedade de campos, áreas, especialistas, profissionais, métodos e abordagens para análise e produção de conhecimento. As Ciências Sociais incluem economia, sociologia, psicologia, antropologia, ciência política, negócios, educação e comunicação. As Ciências Humanas, ou Humanidades, incluem história, linguística, filosofia, artes, cultura e arqueologia. Se aprofundarmos um pouco mais, cada uma dessas áreas tem muitos subcampos e áreas. Tomemos como exemplo as «artes», que incluem as artes plásticas, as artes performativas, a literatura e muito mais. Há muitas pessoas agrupadas sob a sigla CSH, é um lugar bastante acolhedor.

Então, o que estão a fazer as CSH num projeto STEM?

O céu é o limite!

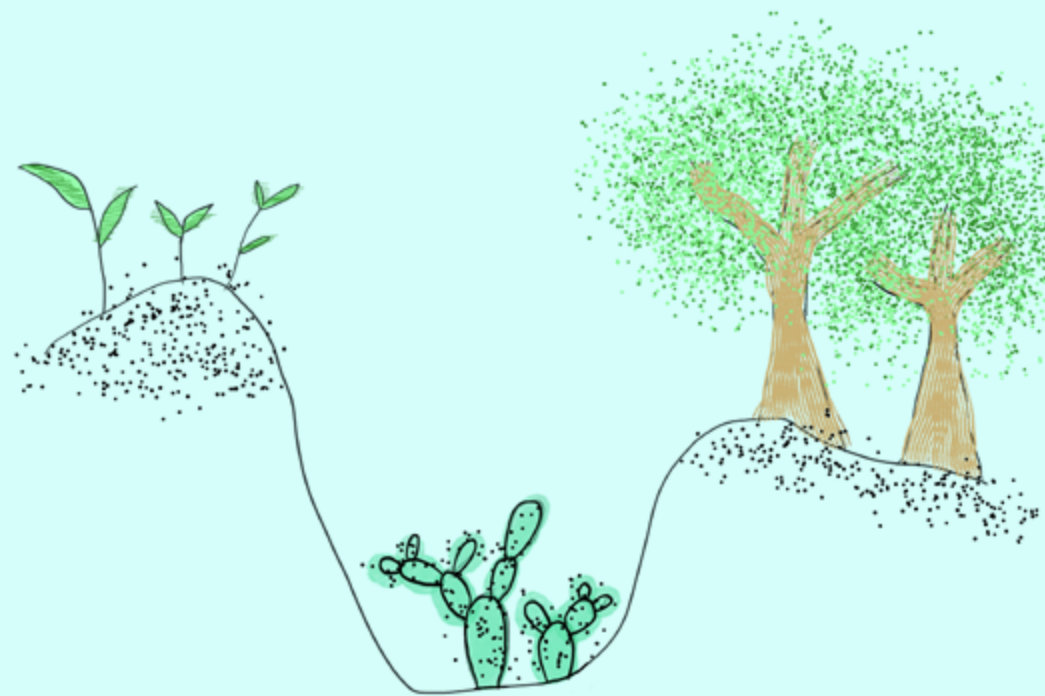
Mas vamos dar um passo de cada vez.

Cientistas, engenheiros, tecnólogos e matemáticos são realmente bons em conduzir pesquisas científicas, inovar em novas tecnologias e contribuir com descobertas significativas e revolucionárias sobre o universo. Da mesma forma, cientistas sociais e humanistas são muito bons em compreender e analisar a sociedade, a política, a economia, a cultura, a linguagem e muito mais. Alguns também são bastante competentes na comunicação, seja por meio de palavras, sons, gestos, performances ou imagens. Não acredita? Pergunte a alguém da sociologia ou antropologia visual que tenha dedicado a sua carreira ao estudo de imagens, valores e sociedade!

Embora provavelmente ninguém tenha solicitado a presença de especialistas em CSH num avião, estas pessoas receberam uma chamada de alguns membros dos círculos de inovação sobre um certo «Vale da Morte» que precisa de ser superado. Originalmente referindo-se às empresas de tecnologia que lutam para ultrapassar a fase inicial, o Vale da Morte também descreve o desafio de levar a investigação científica e as ideias para o mercado, causando um impacto social e avaliando a aceitação.

No que diz respeito à partilha de conhecimentos e tecnologia, os conhecimentos especializados em CSH podem ajudar a colmatar este «Vale da Morte», analisando as necessidades sociais e o «grau de preparação»; investigando o impacto das tecnologias existentes e emergentes; desenvolvendo projetos de **Ciência Cidadã** envolvida que atraem diversas pessoas para participar na investigação científica; comunicando os resultados da investigação e inovação; garantindo a relevância social; oferecendo perspetivas críticas sobre ciência e tecnologia (ver **uma visão crítica sobre biotecnologia**); fornecendo orientação **ética** e **bioética** e muito mais.

Por esse motivo, desde 2020 que os projetos de investigação e inovação financiados pela Comissão Europeia, como o projeto Horizonte Europa BIOASSEMBLER, tiveram de integrar parceiros das Ciências Sociais e Humanas nos consórcios de investigação. Quanto mais cedo todos os parceiros trabalharem em conjunto, mais forte será a proposta e maior será o impacto e a relevância social da investigação científica. É a multidisciplinaridade no seu melhor!



SUSTENTABILIDADE

Tal como o termo **biotecnologia**, sustentabilidade é uma palavra ampla e comumente usada, com definições concorrentes, dependendo do contexto e de quem a utiliza. Podemos pensar que sabemos o que queremos dizer quando falamos de sustentabilidade, mas esse uso pode diferir dependendo de como um vizinho, amigo ou colega entende o termo.

Dividindo a palavra em «sustentar» e «habilidade», a sustentabilidade descreve a capacidade de manter algo num determinado estado por um longo período de tempo. Mas sustentar o quê? E em que estado? Por quanto tempo? Como conceito, a sustentabilidade difere substancialmente de algo como uma revolução, que implica a queda de um sistema ou ordem social em favor de algo novo.

Hoje em dia, a sustentabilidade é mais frequentemente utilizada em relação ao ambiente e à economia, embora as dimensões sociais e culturais sejam cada vez mais consideradas. Muitas vezes, a sustentabilidade baseia-se na ideia de Desenvolvimento Sustentável: satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer as suas próprias necessidades (e, idealmente, prosperar).

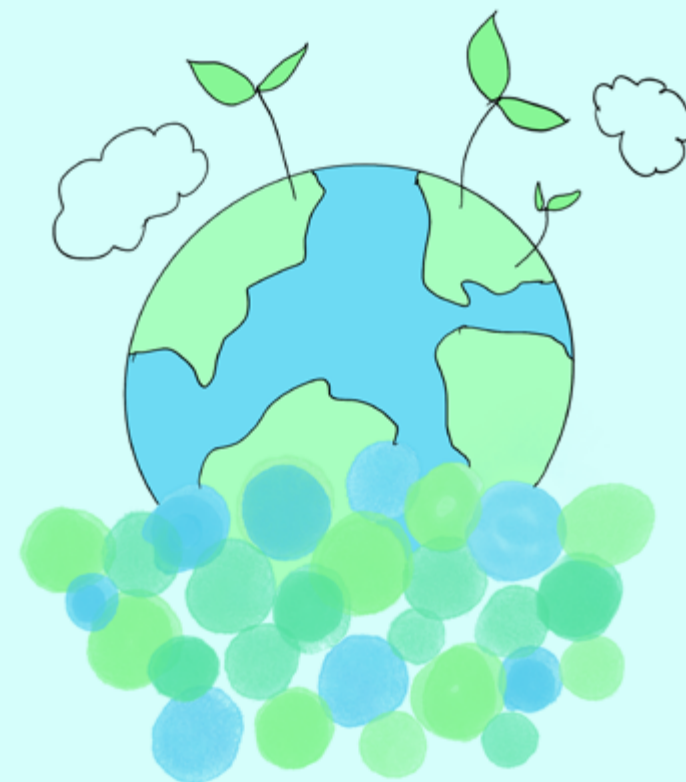
Historicamente centrada no ser humano, há cada vez mais apelos para mudar o foco da sustentabilidade para uma visão mais ecocêntrica, que enfatiza a interdependência entre todas as espécies e entre as espécies e os seus ambientes. Em contrapartida, ligar a sustentabilidade à economia pode ser contraditório, especialmente quando os atuais sistemas económicos regionais, nacionais e globais dependem da extração contínua (e até crescente) que ameaça a sobrevivência de muitas espécies.

As perspetivas podem não parecer boas neste momento, mas pessoas em todas as partes do mundo estão a colaborar e a mobilizar-se para trabalhar em prol de um futuro mais saudável. Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas para 2030 são um exemplo bem conhecido de definição de metas internacionais com o objetivo de proteger a vida, a água e muito mais. A capacidade do público de responsabilizar governos, instituições e uns aos outros também moldará a nossa capacidade de alcançar esses objetivos, por mais distantes que pareçam agora.

A Comissão Europeia atualmente promove a investigação através do Horizonte Europa e de outros programas de financiamento para ajudar a construir um futuro mais sustentável. O projeto BIOASSEMBLER, por exemplo, tinha como objetivo transformar

os sistemas de fabricação tradicionais com soluções **biointeligentes**. A ideia é criar sistemas de produção circulares, mais eficientes e com menos desperdício através da utilização de materiais à nano e microescala. Mas a inovação traz benefícios e custos: as **salas limpas** consomem muita energia, os agressivos solventes químicos poluem o ar e a água, e o fabrico de nanomateriais liberta partículas invisíveis que são tóxicas para os organismos. Estes desafios devem ser abordados e ponderados em relação aos benefícios das novas tecnologias.

Os críticos da sustentabilidade e do «crescimento verde» não consideram que estas abordagens sejam suficientes para enfrentar a crise climática. O decrescimento é uma estratégia e um paradigma que visa dissociar as ideias de crescimento económico do bem-estar e desafiar a premissa de que tudo (excetuando as imortalizadas **linhas celulares** cancerígenas) pode crescer indefinidamente. O objetivo é reduzir a produção e o consumo de forma equitativa, ética e socialmente justa.



ÉTICA E INTEGRIDADE NA INVESTIGAÇÃO

O que é bom? O que é mau? Como devemos viver? Como distinguimos o certo do errado? Como devemos chegar a um consenso e tomar decisões? Estas são apenas algumas das perguntas que devemos fazer a nós próprios e ao nosso mundo, e que constituem a base da ética.

A ética pode ser definida de duas maneiras: como um sistema, código ou conjunto de normas que orientam a conduta e a moral de uma comunidade, e como o estudo desses sistemas. Às vezes, os códigos éticos são altamente visíveis. Por exemplo, pensemos nos sinais de trânsito ou nos ensinamentos religiosos que orientam comunidades em todo o mundo. Outros são tácitos, mas amplamente partilhados, como a forma de se comportar num parque público, no trabalho ou como aceitar presentes e retribuir favores. No entanto, mesmo esses códigos tácitos não são universais: eles são moldados pelo tempo, lugar, cultura e comunidade. Em todas as sociedades, questões, dilemas e problemas éticos surgem diariamente e estão em constante transformação, muitas vezes impulsionados por mudanças, incluindo novas tecnologias. Por esse motivo, a ética diz respeito a todas as pessoas, incluindo investigadores, cientistas e estudantes.

A Comissão Europeia, que financia projetos de investigação como o BIOASSEMBLER, entende que a ética inclui o cumprimento das leis e regulamentos europeus e nacionais e é um ramo da filosofia que pode melhorar a qualidade, a integridade e o impacto social da investigação, bem como a aceitação dos seus resultados — quer se trate de um biossensor ou de um morango excepcionalmente bem estudado!

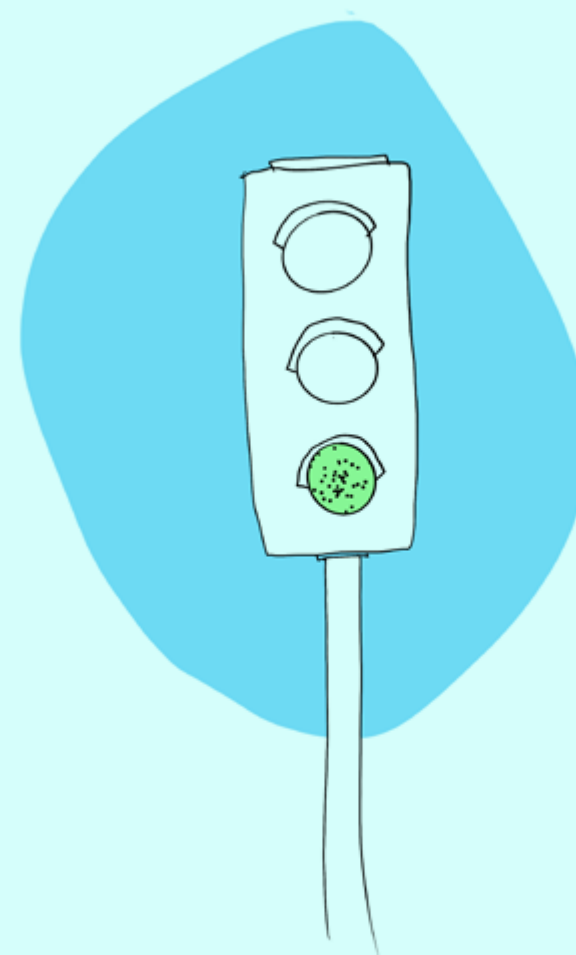
Os princípios orientadores incluem a proporcionalidade, o direito à privacidade, o direito à proteção de **dados** pessoais, o direito à integridade física e mental, o direito à não discriminação e a proteção do ambiente e da saúde humana. A proporcionalidade é a ideia de que os custos de uma ação (como fazer investigação) devem ser equilibrados com os seus benefícios. Normalmente, é responsabilidade dos investigadores demonstrar que os benefícios do seu trabalho superam quaisquer danos.

A integridade da investigação é um conceito intimamente relacionado. Refere-se à adesão aos mais elevados padrões éticos, leis, regulamentos e valores, tais como fiabilidade, honestidade, respeito e responsabilidade. Estes devem ser aplicados a todas as fases e dimensões da investigação, incluindo a recolha e gestão de dados; a colaboração com colegas, estudantes e o público; a publicação, avaliação e todas as outras atividades de investigação.

A maioria dos projetos de investigação requer aprovação ética de um comité de ética em investigação antes de poderem ser iniciados. Esses comités avaliam propostas de investigação, fornecem sugestões sobre

alterações necessárias, como garantir que os investigadores obtenham consentimento informado (autorização concedida com compreensão suficiente dos riscos e benefícios de participar na investigação), e aconselham sobre o armazenamento de dados pessoais. Eles também consideram questões ambientais, de saúde e segurança, e podem nomear consultores éticos independentes ou um painel completo de especialistas em ética, se necessário!

As diretrizes, princípios e estruturas de supervisão ética da investigação contemporânea surgiram em resposta a abusos históricos, tais como esterilização forçada, experiências antiéticas em seres humanos e administração de medicamentos sem consentimento. Para um exemplo de injustiça histórica na prática científica, consulte **linhas celulares**. Para mais informações sobre ética na biotecnologia, consulte **bioética**.



BIOÉTICA

Bioética — afinal, o que é isso?

Bem, se pedirmos a três bioeticistas que definam o termo, provavelmente receberemos três respostas diferentes. A palavra une a biologia e a ética para expressar uma preocupação com a vida. As abordagens bioéticas variam desde as mais específicas, como as decisões de um doente sobre o fim de vida, tomadas em conjunto por familiares e equipa médica, até às mais amplas, que abrangem os desafios da tecnologia genética para o sistema de saúde.

Uma forma de compreender melhor o que é a bioética é observar o trabalho dos bioeticistas.

É isso mesmo, pode-se construir uma carreira inteira a estudar e a ajudar investigadores, médicos, decisores políticos e engenheiros a compreender a ética do seu trabalho e a lidar com questões éticas complexas. Frequentemente, os bioeticistas têm formação em ciências da vida, medicina, saúde pública, direito, filosofia e ciências sociais — ou alguma combinação destas áreas, dependendo da sua área de especialidade. Normalmente, o seu trabalho é interdisciplinar, combinando múltiplos ramos do saber.

Os bioeticistas podem trabalhar em diversos locais e de várias formas, incluindo hospitais, instituições de investigação ou organismos governamentais. A sua formação capacita-os para identificar dilemas éticos que surgem em diferentes áreas e aconselhar investigadores, médicos e doentes sobre questões éticas, ajudando-os a seguir orientações e oferecendo orientação quando surgem problemas. Isto pode ser tão detalhado como garantir que os investigadores eliminam solventes químicos perigosos corretamente. E é especialmente crítico em campos emergentes como a nanobiotecnologia, onde novos métodos de produção precisam de ser continuamente avaliados para mitigar os potenciais riscos para a saúde e segurança humana e ambiental.

Os bioeticistas podem ainda participar em comités de ética (analisando propostas de investigação ou ensaios clínicos) e oferecer formação a investigadores das ciências biológicas e profissionais da área médica. Alguns bioeticistas conduzem investigação sobre ética, medicina e tecnologia, participando em debates e reflexões contínuas sobre novas formas de pensar e abordar dilemas éticos.

A bioética enfatiza geralmente a importância de levar a deliberação ética para além do meio académico, capacitando cidadãos e o processo democrático. Um grupo ou equipa de investigação que desenvolve tecnologias pode incluir bioeticistas, mesmo quando o trabalho não se centra diretamente na ética aplicada para orientar a inovação, antecipar implicações e melhorar a conformidade e a confiança.

Há também aqueles que adotam uma visão ampla e de longo prazo da bioética. De facto, um dos pioneiros da bioética, o bioquímico norte-americano Van Rensselaer Potter, apresentou uma definição bastante abrangente:

“O que precisamos de encarar agora é o facto de que a ética humana não pode ser separada de uma compreensão realista da ecologia no seu sentido mais amplo. Os valores éticos não podem ser separados dos factos biológicos. Precisamos urgentemente de uma Ética da Terra, uma Ética da Vida Selvagem, uma Ética Populacional, uma Ética do Consumo, uma Ética Urbana, uma Ética Internacional, uma Ética Geriátrica, e assim por diante. Todos estes problemas exigem ações baseadas em valores e factos biológicos. Todos eles envolvem Bioética, e a sobrevivência de todo o ecossistema é o teste do sistema de valores.”

Enquanto a forma institucionalizada e dominante da bioética se centra em problemas concretos na área da saúde e na investigação biomédica — aplicando frequentemente os quatro princípios da autonomia, beneficência, não maleficência e justiça —, a visão ecológica mais ampla de Potter, de há mais de 50 anos, parece cada vez mais visionária.



CIÊNCIA ABERTA

Ciência Aberta é como abrir as cortinas do palco onde as descobertas científicas acontecem, tornando a investigação mais acessível e convidativa. Esqueçamos a ideia de investigação fechada em bases de dados impenetráveis ou perdida em jargões complicados. A proposta é simples: partilhar tudo! Bem, talvez não *tudo*, uma vez que considerações éticas exigem a proteção de alguns dados, como dados pessoais. Mas o princípio é: «tão aberto quanto possível, tão fechado quanto necessário».

Em termos práticos, a Ciência Aberta acaba com as barreiras entre cientistas, instituições e público. Os e as investigadores disponibilizam os seus resultados e dados em revistas ou repositórios abertos e gratuitos para que qualquer pessoa possa ver, verificar e usar. Isto significa que qualquer pessoa, desde estudantes curiosos e seus professores até empresários, pode aprender, desenvolver ou até mesmo desafiar o trabalho que está a ser feito. Esta transparência aumenta a confiança na ciência e acelera a inovação. Quando as pessoas podem explorar, questionar e expandir o trabalho umas das outras, a ciência torna-se não só mais rápida, mas também mais fiável e criativa.

A Ciência Aberta também procura convidar o público para o próprio processo de investigação. As iniciativas de Ciência Cidadã, por exemplo, permitem que pessoas voluntárias trabalhem ao lado de investigadores e investigadoras, ajudando a recolher dados ou a impulsionar a investigação em novas direções. Esta ligação entre a ciência e a sociedade reforça a compreensão mútua e valoriza diversas formas de conhecimento. Esta inclusão é uma característica fundamental da Ciência Aberta, que visa abraçar diferentes sistemas de conhecimento e promover a igualdade na busca pela descoberta.

Além de mudar a forma como a investigação é conduzida, a Ciência Aberta também reformula o modo como o conhecimento científico é partilhado. Os e as investigadoras são incentivados a contar as suas histórias numa linguagem clara, a utilizar recursos visuais criativos e a partilhar os seus percursos e descobertas. Ao comunicarem de forma acessível e envolvente, ajudam a compreender melhor o que é a ciência e por que é importante. O plano de **comunicação de ciência** e de disseminação adotado no projeto BIOASSEMBLER reflete esta abordagem mais ampla: não se trata apenas de publicações em acesso aberto e partilha de dados, mas também de chegar às escolas, utilizar plataformas de redes sociais ou oferecer oficinas e colaborações artísticas.

Como parte da política de investigação da Comissão Europeia, as políticas de Ciência Aberta também impulsionam a definição e implementação de planos de exploração de projetos, procurando aumentar o impacto da investigação e garantir que os resultados científicos se tornem um bem público partilhado para além da duração dos projetos.

O objetivo final da Ciência Aberta é alimentar a curiosidade e a aprendizagem ao longo da vida, fortalecendo a ciência e as comunidades. Quando mais pessoas têm acesso a informações fiáveis, a sociedade está melhor equipada para resolver grandes desafios e discutirlos de forma significativa. Ainda assim, o princípio «tão aberto quanto possível, tão fechado quanto necessário» serve como um lembrete importante de que alguns dados e resultados de investigação podem precisar de permanecer fechados, por exemplo, para proteger a **Propriedade Intelectual** de um investigador, mas o padrão deve ser a abertura sempre que possível.



COMUNICAÇÃO DE CIÊNCIA

Já alguma vez sentiu que a ciência é um clube exclusivo com uma linguagem própria, que só os membros conseguem compreender? Bem, o objetivo da Comunicação de Ciência é abrir as portas desse clube e convidar toda a gente a entrar. A ideia não é transformar todas as pessoas em cientistas, mas partilhar as maravilhas, os desafios e o impacto da ciência no mundo real de uma forma que cada pessoa possa compreender e com a qual se possa identificar.

Pensemos nisso como um serviço de tradução. As e os cientistas fazem o seu trabalho e, em seguida, as e os comunicadores de ciência «traduzem» as suas descobertas para uma linguagem que seja mais comum a qualquer pessoa. O objetivo é tornar o conhecimento público e disponível gratuitamente para que outras pessoas o possam usar, seja para criar um novo produto, definir políticas ou simplesmente satisfazer um pouco a curiosidade.

No panorama atual da investigação, a comunicação eficaz é cada vez mais uma componente obrigatória da maioria dos projetos de investigação. Organismos de financiamento, como a Comissão Europeia, exigem regularmente planos detalhados de comunicação e divulgação como parte dos concursos para atribuição de fundos. Esta mudança reflete uma compreensão mais ampla de que o investimento público na ciência exige responsabilidade e envolvimento públicos.

As e os investigadores são frequentemente chamados a demonstrar como o seu trabalho poderá ir além dos círculos académicos para beneficiar a sociedade, informar políticas e inspirar as gerações futuras. Sem uma estratégia de comunicação robusta, os projetos correm o risco de não conseguir financiamento e perder oportunidades de maximizar o seu impacto.

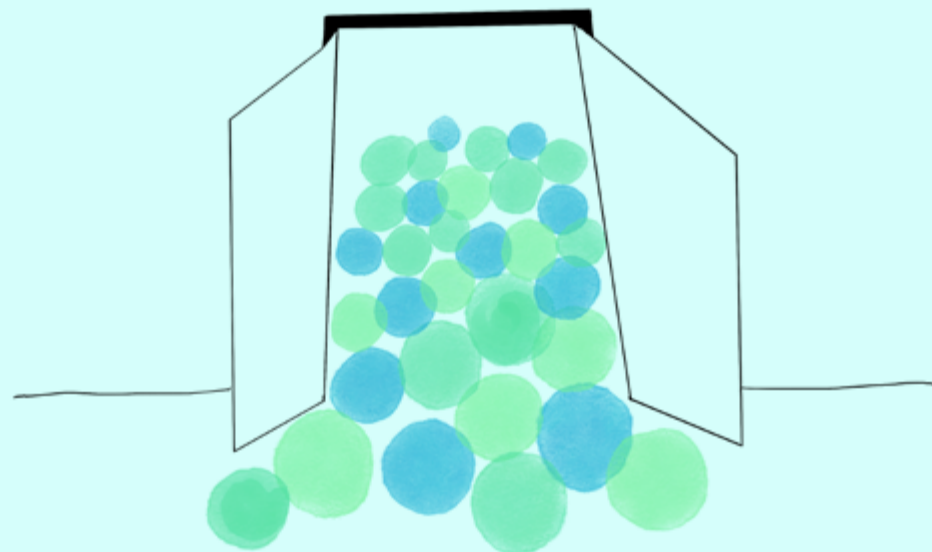
Para que isso funcione, os projetos precisam de um plano sólido. Um plano que contemple não apenas a publicação de artigos científicos, mas também uma identidade visual atraente, um *website* fácil de usar e redes sociais ativas. O ingrediente (não tão) secreto é criar mensagens claras e diretas que destaquem os benefícios e o impacto da investigação.

A comunicação da ciência contemporânea vai muito além do (ainda importante) comunicado de imprensa. A verdade é que a comunicação só se torna uma conversa quando há diálogo. Em vez de uma via de sentido único, em que cientistas falam e o público ouve, a abordagem atual é muito mais uma conversa bidirecional. Trata-se de envolver ativamente as pessoas, criando um espaço onde especialistas e cidadãos possam trocar ideias e cocriar novos conhecimentos.

Uma das formas mais criativas e eficazes de fazer isso é através da arte. A arte tem um poder único de se relacionar com as nossas emoções e tornar ideias complexas mais simples. Imaginemos um artista residente num centro de investigação, colaborando com cientistas para criar uma *performance*. Ou que tal uma banda desenhada que explique como funcionam os avanços da **biotecnologia**? E que tal esta coleção de textos ilustrados curtos que está a ler? Estas abordagens artísticas ajudam a criar uma ligação mais profunda e significativa com a ciência.

Ao combinar ciência e arte, a comunicação torna-se mais inclusiva e participativa. Facilita a compreensão de temas complexos, cria confiança na inovação e incentiva mais pessoas a interessarem-se ativamente pela investigação científica e as suas implicações. Em última análise, trata-se de garantir que a ciência não é algo que acontece apenas à porta fechada, mas sim uma conversa aberta e continuada, da qual qualquer pessoa pode fazer parte.

E então, agora que as portas foram abertas, o que e como gostaria de comunicar?



CIÊNCIA CIDADÃ

O progresso científico tem sido frequentemente impulsionado por mentes curiosas para além das paredes das universidades e centros de investigação, desde naturalistas pioneiros que documentavam novas espécies até astrónomos amadores dedicados ao mapeamento das estrelas. Hoje, esse espírito prospera na forma de uma disciplina científica: a Ciência Cidadã, uma abordagem colaborativa à ciência que convida qualquer pessoa (sim, qualquer pessoa!) a trabalhar com investigadores profissionais na exploração e compreensão do mundo.

Na sua essência, a Ciência Cidadã é a participação pública na investigação científica. Por exemplo, uma pessoa pode ajudar a monitorizar as migrações das aves, a qualidade do ar ou a identificar sinais de doenças a nível celular. Antes vistos principalmente como auxiliares na recolha de dados, hoje em dia os e as cientistas cidadãs participam frequentemente na formulação de questões de investigação, na análise de resultados e na interpretação de descobertas. A mensagem é clara: a ciência não se limita a espaços especializados ou a jargões misteriosos, é algo em que qualquer pessoa pode mergulhar (de preferência com entusiasmo, não literalmente).

A Ciência Cidadã é uma ferramenta imprescindível para produzir dados em grande escala e gerar novas ideias. Enquanto as/os cientistas obtêm informações valiosas sobre padrões locais e globais, as e os participantes ganham uma visão privilegiada de como o conhecimento científico é criado. Essa parceria aprofunda a compreensão do público sobre a ciência e fortalece a capacidade da sociedade de enfrentar desafios urgentes, como as alterações climáticas e a saúde pública, graças ao esforço coletivo.

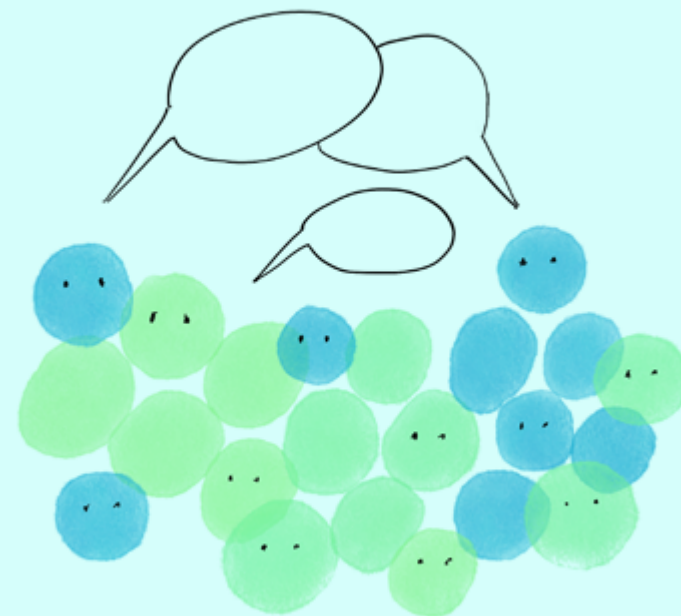
Embora a Ciência Cidadã se tenha tradicionalmente desenvolvido nas ciências naturais, há um interesse crescente em alargá-la às **Ciências Sociais e Humanas**. Estas áreas podem esclarecer as dimensões humanas da ciência e da tecnologia, incluindo a forma como as comunidades as sentem, interpretam e questionam. Os projetos podem explorar histórias locais, práticas culturais ou comportamentos sociais, refletindo as experiências vividas e os valores das comunidades e a forma como se relacionam com os esforços científicos passados, presentes e futuros.

A ciência social cidadã envolvida leva a colaboração ainda mais longe. Nesta abordagem, os cidadãos tornam-se colíderes na investigação, contribuindo com os seus valores, experiências e perspetivas desde o início. O conceito vai além dos métodos tradicionais e hierárquicos, abraçando a coprodução e a aprendizagem conjunta. Cientistas e cidadãos trabalham lado a lado para identificar problemas, desenvolver soluções e, eventualmente, moldar políticas. E convida todos os

participantes — sejam cidadãos ou cientistas — a aplicar uma **visão crítica** à própria ciência, examinando quem produz conhecimento, quais vozes são ouvidas e como a tecnologia molda a vida quotidiana (para melhor, pior ou apenas com engenhocas mais complicadas).

Este processo colaborativo também se pode estender à **Comunicação de Ciência**. Ao envolverem-se diretamente na investigação, os cidadãos tornam-se colaboradores ativos na criação de narrativas científicas, ajudando a conceber estratégias e materiais de comunicação que tornam ideias complexas mais acessíveis e relevantes. Este processo transforma a comunicação de uma transmissão unidirecional de factos num diálogo bidirecional, onde vozes e perspetivas diversas moldam a forma como a ciência é compreendida e discutida.

A Ciência Cidadã tem a ver com diálogo. Ela esbate a linha divisória entre cientistas e cidadãos, transformando a investigação numa jornada partilhada. Ao trabalharmos em conjunto, podemos criar uma compreensão mais rica e significativa dos desafios complexos que enfrentamos. E talvez até rirmos um pouco ao descobrirmos a história infinitamente fascinante, ocasionalmente caótica e sempre humana da descoberta que partilhamos.



DADOS E PRIVACIDADE

Dados — produzimo-los sempre que pegamos nos nossos telefones, estão por todo o lado, são tomadas decisões com base neles, os super-computadores processam-nos, as entidades reguladoras tentam protegê-los, os céticos digitais evitam-nos. Mas o que são?

Os dados são geralmente definidos como um conjunto de informações sobre um objeto ou domínio de interesse, expressas em números, imagens ou palavras. Estas informações, registadas e armazenadas, formam, em conjunto, um banco de dados. O que é importante lembrar é que a informação precisa de ser interpretada para se tornar útil ou para se tornar um facto (científico).

Existem muitas formas analógicas de armazenar dados (antigamente utilizávamos fichas e arquivos), mas estas têm limitações bastante óbvias quanto à quantidade de dados que podem armazenar. Por isso, hoje em dia, a maioria das bases de dados é digital.

Juntamente com o crescimento exponencial de utilizadores da *internet* desde meados da década de 1990, surgiu a produção exponencial de dados. Hoje em dia, falamos de *Big Data*. *Zettabytes* de dados. Dados tão grandes que os *softwares* tradicionais de processamento de dados não os conseguem processar. Redes sociais, sensores, transações financeiras (pense em cada vez que utiliza um cartão numa loja), tudo isto gera dados — e, na maioria das vezes, esses dados são sobre *quem* os utiliza (sim, os seus dados!). Todos estes fluxos de dados se juntam para criar vastos oceanos de dados, muitos dos quais estão a ser interpretados com o uso de inteligência artificial (IA) e aprendizagem automática. Existem benefícios que podem advir do processamento de *Big Data*, mas também existem riscos reais e preocupações **éticas**.

Consideremos o exemplo dos biossensores que se podem vestir ou usar (*wearable*) e dos **sensores MEMS** para monitorização remota de saúde. Imagine uma pessoa a utilizar um sensor ligado à *internet* que mede o ritmo cardíaco, os níveis de oxigénio e o sono. Interpretados por algoritmos — potencialmente até treinados com base nos dados do paciente — os dados recolhidos por estes sensores podem, teoricamente, ser partilhados com familiares, médicos ou até mesmo com os serviços de urgência.

Para além de outros desafios (para mais informações, consulte **saúde e sustentabilidade**), existem também preocupações com a privacidade e a vigilância de dados. Atualmente, os dispositivos *wearable* não são seguros, embora contenham muitos dados privados, incluindo informações de localização e de saúde. Na Europa, os fabricantes de dispositivos devem cumprir o Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (RGPD); no entanto, enquanto quadro legislativo, a aplicação do RGPD é da responsabilidade das autoridades nacionais de proteção

de dados. Em síntese, o simples facto de um dispositivo estar disponível para compra não significa que seja seguro para utilização do ponto de vista da privacidade dos dados ou imune a ciberataques (infelizmente, os **anticorpos** não resolvem este problema).

Muitos de nós gostamos de imaginar as aplicações pró-sociedade e pró-saúde dos biossensores. No entanto, estes aparelhos também levantam preocupações quanto à vigilância. Por exemplo, na Austrália e nos Estados Unidos da América, algumas seguradoras já oferecem descontos nos planos de saúde para as pessoas que utilizam estes dispositivos. Além de obterem uma mina de ouro de informação, os planos personalizados correm o risco de penalizar as pessoas consideradas “pouco saudáveis”. Tal encargo recairia desproporcionalmente sobre os doentes crónicos, os pobres e as comunidades mais marginalizadas.



PARCERIAS

A categoria é: melhores parcerias de desenhos animados. Tom & Jerry. Asterix & Obelix. Tintim & Milu. Wallace & Gromit. Os estrunfes/smurfs? (Não, isso é mais um coletivo.) Winnie the Pooh & Piglet. SpongeBob & Patrick. Quem acrescentaria? De qualquer forma, entendeu a ideia: melhores juntos.

Na verdade, *não* estamos aqui para falar sobre desenhos animados, mas sobre outro tipo de parceria. O tipo entre universidades e parceiros industriais.

Estas parcerias estão cada vez mais posicionadas como fundamentais para o avanço dos programas de investigação e inovação (I&I) de um país, por vezes também denominados investigação e desenvolvimento (I&D). Cada vez mais, as universidades estão a criar Gabinetes de Transferência de Tecnologia (ver **Transferência de Conhecimento**), para facilitar a colaboração entre investigadores e empresários e gerir a **Propriedade Intelectual** (PI) da universidade. Alguns dos objetivos destas parcerias são encontrar soluções inovadoras para problemas locais, nacionais e globais, criar oportunidades de emprego, aumentar o impacto que o conhecimento produzido pela universidade tem na sociedade e impulsionar o crescimento económico.

As universidades, sejam públicas ou privadas, muitas vezes contêm dezenas, senão centenas, de centros de investigação, laboratórios, bibliotecas, grupos de trabalho e muito mais. São locais fundamentais para a produção de conhecimento, que desempenham um papel importante nas redes de partilha, troca e transferência de conhecimento. Por outro lado, os parceiros industriais tendem a agir mais rapidamente e têm experiência em produção, marketing e comércio de forma mais ampla.

A indústria precisa de ideias, conhecimentos e experiência que, por vezes, parecem estar «presos» nas universidades, enquanto estas últimas procuram divulgar o conhecimento o mais amplamente possível e são cada vez mais pressionadas a encontrar fontes de receita alternativas, num contexto de redução do financiamento público para essas instituições.

Um **consórcio** como o BIOASSEMBLER é um tipo de parceria. O programa de investigação Horizonte Europa, que financia este projeto, promove a colaboração entre universidades e indústrias na União Europeia. Este consórcio específico inclui universidades públicas, centros de investigação e parceiros da indústria. Ao aproveitar os pontos fortes, conhecimentos e experiência uns dos outros, a parceria criou algo novo (um biossensor multiplex com prova de conceito), o que teria sido difícil, se não impossível, de realizar sem essa parceria!

No mundo internacional da investigação e inovação em biossensores, são estabelecidas parcerias em todo o mundo, mas não necessariamente de forma uniforme. Alguns países trabalham em estreita colaboração, como a Alemanha, a França e a Inglaterra. Em contrapartida, a China é líder em publicações científicas sobre biossensores, mas estabelece menos parcerias com instituições não chinesas em comparação com outros grandes países. O Brasil e a Índia destacam-se como importantes centros de investigação em biossensores no Sul Global, mas é notável que existam muito poucas redes que incluam instituições africanas.

A investigação, o *design*, a inovação e a comercialização de biossensores refletem atualmente as prioridades dos principais intervenientes, fabricantes, financiadores e consumidores. O potencial dos biossensores e o papel transformador que podem desempenhar a nível global podem ser ampliados e reforçados através da expansão da comunidade de especialistas e do público envolvido na sua produção!



PROPRIEDADE INTELECTUAL

Propriedade intelectual (PI) é um termo jurídico que abrange vários regimes jurídicos, incluindo direitos de autor, patentes e marcas registradas. Ao contrário da maioria dos bens, que são materiais (como um apartamento, um relógio ou uma bicicleta), a Propriedade Intelectual é abstrata. Não pode ser tocada ou agarrada. Na maioria das vezes, consiste em ideias, informações ou trabalhos criativos resultantes do esforço ou da «genialidade» de um indivíduo, uma instituição (como um laboratório de pesquisa) ou uma empresa.

Como conceito, a Propriedade Intelectual inclui uma enorme variedade de produções criativas — de livros e obras de arte a produtos farmacêuticos, *software* e organismos geneticamente modificados. São inúmeras as indústrias e as pessoas que fazem uso das leis de direitos de autor, patentes e marcas registradas para reivindicar a posse exclusiva de ideias, descobertas ou criações. A capacidade de reivindicar a posse depende dos Direitos de Propriedade Intelectual (DPI), os direitos legais que indivíduos ou entidades têm para reivindicar o uso exclusivo de suas criações.

Não compensaria fabricar, por exemplo, uma barra de chocolate vegana de framboesa, avelã e leite de aveia em França, se um concorrente em Espanha pudesse vender o mesmo produto por um preço mais baixo. Por isso, há uma série de convenções, tratados e acordos internacionais que regem e tentam padronizar as leis de PI na Europa e em todo o mundo. A Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI) das Nações Unidas, fundada em 1967, é uma dessas agências que visa servir «os inovadores e criadores do mundo».

Há muito tempo que existe um grande otimismo em torno dos direitos de propriedade intelectual e dos regimes jurídicos como ferramentas para melhorar a vida das pessoas, contribuir para o desenvolvimento económico e incentivar a inovação. De facto, sem os direitos e as leis de Propriedade Intelectual, haveria poucos incentivos para os investidores financiarem pesquisas e inovações de alto risco que resultam em novos medicamentos, terapias e vacinas, para citar apenas alguns exemplos.

Às vezes surgem debates notáveis sobre Propriedade Intelectual que destacam os diversos problemas não resolvidos neste sistema e produzidos por ele. Por exemplo, durante a pandemia de COVID-19, em 2020, a África do Sul e a Índia argumentaram perante a Organização Mundial do Comércio que os direitos de PI sobre as novas vacinas protegidas por DPI deveriam ser suspensos por três anos para resolver as graves desigualdades globais no

acesso a essas vacinas. Acabou por ser alcançado um compromisso restrito, mas permanecem por resolver questões sobre o papel que as patentes farmacêuticas desempenham no agravamento das desigualdades globais em matéria de saúde. É certo que grandes carteiras de patentes estão ligadas aos lucros das empresas farmacêuticas, mas a que custo e com a exclusão e a benefício de quem?

Na Europa, os projetos de investigação financiados pela Comissão Europeia (CE), incluindo o Horizonte Europa, são obrigados a gerir e registar os seus direitos de propriedade intelectual. Isso inclui notificar a CE sobre quaisquer patentes ou marcas registradas e obter permissão da CE para partilhar quaisquer resultados, investigações ou descobertas que possam ter valor comercial.



TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO

Já realizou uma pesquisa sobre um assunto e, em seguida, fez uma apresentação nervosa diante de outras pessoas? Ou talvez tenha feito uma viagem, planejado o itinerário perfeito para visitar os melhores cafés e publicado *online*?

Em essência, todas são formas de transferir conhecimento, de transferência e partilha de conhecimento. A diferença entre partilha de conhecimento e transferência de conhecimento é sutil. A maioria das pessoas que usa o termo partilha de conhecimento enfatiza a produção colaborativa e social do conhecimento, o contexto e o momento inerentes à sua produção e os tipos de conhecimento que não são facilmente transferíveis. A Transferência de Conhecimento é mais aplicável ao conhecimento como um objeto ou propriedade que pode ser separado de seu conhecedor ou criador.

Por exemplo, se memorizar o Alcorão, esse conhecimento é incorporado (vive dentro de si). Ele pode ser facilmente partilhado por meio da recitação oral. No entanto, o Alcorão como livro é um exemplo de conhecimento que é mais facilmente transferido, dada a sua natureza como texto escrito, impresso e encadernado. Neste grande mundo, há muitas formas que o conhecimento pode assumir.

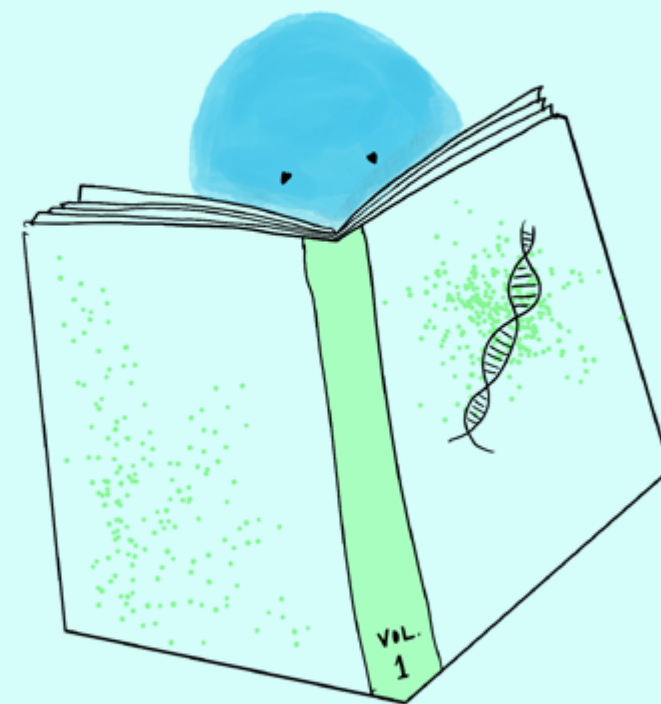
A Transferência de Conhecimento é o termo mais comumente usado nos círculos contemporâneos de pesquisa, inovação e empreendedorismo. Vejamos um exemplo:

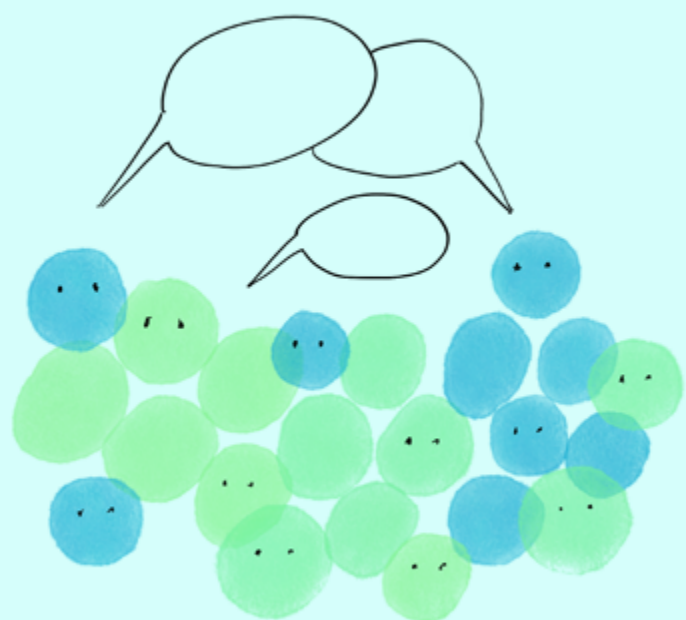
Atualmente, muitas universidades possuem os chamados Gabinetes de Transferência de Tecnologia, responsáveis pela gestão dos direitos de **Propriedade Intelectual** (PI) dentro da universidade e pela mediação entre investigadores e empresários que procuram comercializar tecnologia ou inovações. As universidades têm cada vez mais os seus próprios portfólios de patentes, cuja utilização deve ser negociada através do Gabinete de Transferência de Tecnologia, em troca de dinheiro sob a forma de taxas ou direitos de autor. A ideia por detrás desses escritórios é transferir conhecimento da universidade para a «sociedade» por meio de empresas. Historicamente, muito conhecimento foi acumulado na torre de marfim dos corredores científicos ou em empresas privadas, para o benefício de relativamente poucos. Os Gabinetes de Transferência de Tecnologia são concebidos como um mecanismo para promover as **parcerias** entre universidades, investigadores/as e o setor privado.

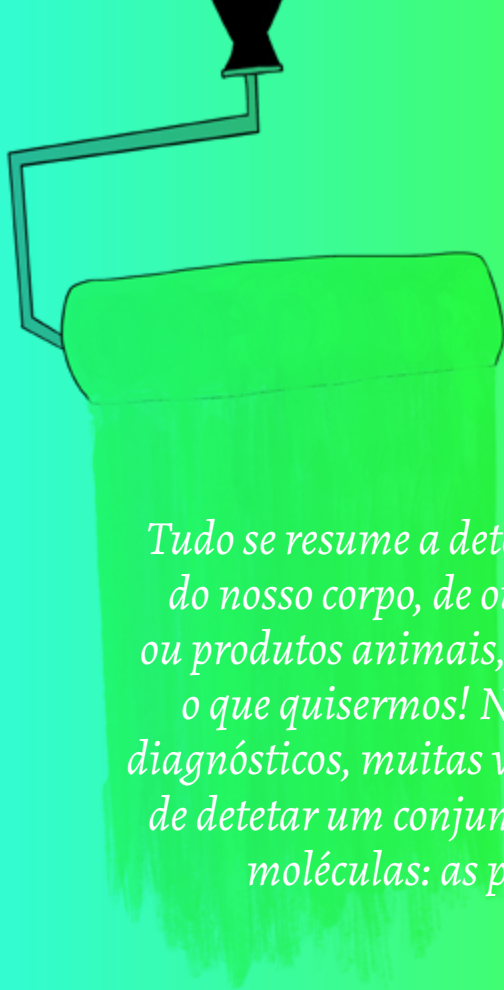
Outros canais de transferência de conhecimento incluem a promoção do empreendedorismo académico por meio de *spin-offs* e *start-ups*, o envolvimento em projetos de I&D (investigação e desenvolvimento) geridos por universidades e a prestação de serviços de consultoria. Outras vias envolvem o uso ou aluguer de instalações

universitárias, pós-graduações e estágios em empresas, intercâmbio de pessoal e formação de funcionários de empresas pela universidade. Além disso, estas parcerias estratégicas contribuem significativamente para ampliar o impacto do conhecimento académico.

No entanto, esta abordagem pode, por vezes, entrar em conflito com os apelos da **Ciência Aberta**, que visa abrir as universidades, as publicações e a investigação de forma precoce e gratuita como um bem público. Quando a investigação é financiada publicamente pelos contribuintes, surgem questões como: a procura de patentes pela universidade é do interesse público ou estas tornam-se ferramentas para transferir conhecimento (e riqueza) para o setor privado? Como podem as estratégias de Transferência de Conhecimento ser alinhadas entre partes interessadas com objetivos, fontes de financiamento e prazos diferentes?







*Tudo se resume a detetar moléculas:
do nosso corpo, de outros animais
ou produtos animais, do ambiente...
o que quisermos! No mundo dos
diagnósticos, muitas vezes precisamos
de detetar um conjunto específico de
moléculas: as proteínas.*

Ao longo de 50 textos curtos e das suas
ilustrações, este livro convida a um percurso
pelos meandros da ciência por trás de
dispositivos tão familiares como o teste de
gravidez ou o monitor de glicose, e a pensar
sobre as implicações éticas e sociais dos
processos de descoberta científica.