



Fonte: Freepik.com. Reprodução

Celulares, lasers e células fotoelétricas são exemplos de tecnologias quânticas da primeira geração.

Brasil na Era Quântica: entre avanços científicos e desafios tecnológicos

por Chris Bueno e Priscylla Almeida

Em 2025, o mundo inteiro volta os olhos para a física quântica. Isso porque a ONU declarou este o *Ano Internacional da Ciência e Tecnologia Quânticas* – um reconhecimento não somente à teoria que revolucionou nossa compreensão da matéria há mais de um século, mas também às tecnologias que começam a moldar nosso futuro de forma concreta.

Mas afinal, o que é essa tal de “quântica”? O termo pode soar místico – e é

frequentemente usado equivocadamente para vender ideias esotéricas ou produtos duvidosos —, mas a ciência quântica é baseada em fundamentos rigorosos. Ela estuda o comportamento das partículas mais elementares da natureza, como elétrons e fótons, em uma escala tão microscópica que as leis da física clássica deixam de se aplicar. Nesse mundo minúsculo, partículas podem ser encontradas em dois estados ao mesmo tempo (fenômeno conhecido como *superposição*) e

até se influenciarem a longas distâncias (*emaranhamento*). Por muito tempo, esses conceitos pareceram saídos da ficção científica. Hoje, começam a se materializar em aplicações tecnológicas reais. São esses fenômenos quânticos que modelam o mundo macroscópico em que vivemos.

Entre os maiores avanços está o computador quântico. Diferente dos computadores tradicionais, que operam com bits (0 ou 1), ele utiliza *qubits*, capazes de representar múltiplos

estados simultaneamente. Isso permite resolver problemas complexos – como simulações moleculares para novos medicamentos, criação de materiais inovadores ou planejamento logístico em larga escala – com velocidade incomparável. Já a *criptografia quântica* promete uma segurança quase inviolável nas comunicações digitais. E os *sensores quânticos* têm potencial para detectar mínimas variações em campos magnéticos e gravitacionais, com aplicações que vão de exames médicos ultra-precisos a sistemas de navegação e monitoramento ambiental.

As tecnologias quânticas começaram a impactar o mundo ainda no século XX, com aplicações como o laser na medicina, a ressonância magnética, CDs, câmeras digitais e componentes de computadores. No século XXI, os avanços se ampliaram em áreas como fotônica quântica (exames de imagem), química quântica (diagnósticos rápidos), novos materiais e a chamada *informação quântica*. Também surgiram sensores quânticos para monitoramento ambiental e estudos em energia limpa, como células solares mais eficientes.

Hoje já vivemos em um “mundo quântico”: celulares, lasers e células fotovoltaicas são exemplos da primeira geração dessas tecnologias. Agora, a segunda geração – que inclui computação e sensores quânticos – começa a ganhar espaço, embora ainda enfrente grandes desafios técnicos e na formação de profissionais. “Essas três linhas envolvem engenharia, desenvolvimento de software

e suporte teórico, implicando numa forte colaboração entre físicos, químicos, matemáticos e engenheiros, além de uma revolução na educação, que já ocorre em outros países”, afirma Luiz Davidovich, Professor Emérito da UFRJ e membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), durante a 5ª Conferência Nacional de Ciência e Tecnologia. Segundo ele, o Brasil tenta acompanhar os avanços, mas ainda enfrenta o desafio da falta de recursos. Apesar disso, o país tem produzido conhecimento e conta com 20 instituições públicas de ensino superior e o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) atuando na área. Em 2024, foi criada a primeira rede quântica conectando instituições no Rio de Janeiro, e a Portaria MCTI n.º 8194 instituiu um grupo de trabalho para propor diretrizes nacionais em tecnologias quânticas (Figura 1).

A quântica no Brasil: avanços e obstáculos

No Brasil, um dos centros de destaque é o SENAI CIMATEC, em Salvador (BA), que abriga o CIMATEC QUANTUM, novo laboratório que integra as iniciativas do Centro de Competência Embrapii em Tecnologias Quânticas (QullN) e do Latin America Quantum Computing Center (LAQCC), especializado na distribuição quântica de chaves com variáveis contínuas (CV-QKD). O local também sedia o Kuatomu (que significa Quantum em Iorubá), primeiro e maior simulador



Fonte: Portalsolar.com.br. Reprodução

Figura 1. Célula fotovoltaica

de computação quântica da América Latina, voltado para soluções para a indústria.

“O Brasil está na 21ª posição entre os maiores produtores de artigos científicos na área de tecnologias quânticas. E até agora, o único investimento concentrado e massivo nessa área foi o do QuINN no SENAI CIMATEC, que chega a R\$ 60 milhões. Apesar do baixo investimento, temos uma posição muito boa. Isso mostra que temos uma comunidade científica consolidada, com potencial para liderar projetos de grande porte em ciência e tecnologia quântica”, afirma o pesquisador Gustavo Wiederhecker, professor do Instituto de Física Gleb Wataghin da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

Parcerias entre o Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC), universidades federais e entidades como a Sociedade Brasileira de Computação (SBC) estão se fortalecendo para desenvolver algoritmos inovadores e investigar sistemas de supercondutividade – aspectos fundamentais para o avanço do hardware quântico. No entanto, essas

colaborações ainda ocorrem de forma dispersa, diferentemente de áreas como a física de altas energias, que operam em consórcios internacionais organizados, como o CERN.

Durante mais de duas décadas, o INCT-IQ (Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Informação Quântica) desempenhou papel essencial na articulação dessa rede. Mas, segundo Ivan Oliveira, coordenador do Laboratório de Tecnologias Quânticas do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), o resultado do edital para os INCTs de 2025 desarticulou completamente essa colaboração. “As colaborações nesta área se dão hoje entre grupos e pesquisadores individuais. Durante mais de vinte anos, o Instituto Milênio de Informação Quântica, atual INCT, funcionou como uma ‘grande colaboração’ nacional, reunindo centenas de pesquisadores, estudantes e parceiros internacionais. Essa iniciativa de sucesso foi dramaticamente interrompida”, lamenta. Porém, há outros INCTs (e propostas novas deles) na área geral da ciência quântica.

Apesar da fragilização institucional, a produção científica continua forte. A pesquisadora Liliana Sanz de la Torre, professora do Instituto de Física da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), destaca a importância de experimentos brasileiros com emaranhamento quântico e fótons gêmeos, além das contribuições em termodinâmica quântica desenvolvidas em centros como o CBPF, a Universidade Federal do ABC (UFABC) e universidades no interior do país, como

Universidade Federal de Goiás (UFG), entre outras. “Temos líderes com reconhecimento internacional nessas áreas”, afirma.

Outro obstáculo é a falta

“Temos uma comunidade científica consolidada, com potencial para liderar projetos de grande porte em ciência e tecnologia quântica.”

de acesso a tecnologias estratégicas devido ao chamado *Quantum Embargo* – restrições lideradas pelos EUA e países da OTAN que dificultam a exportação de equipamentos sensíveis. Gustavo Wiederhecker relata casos de pesquisadores brasileiros que tiveram pedidos negados, inviabilizando experimentos. “O *Quantum Embargo* são restrições de exportação aplicadas por países como os Estados Unidos, com apoio europeu, principalmente da OTAN, para tecnologias ligadas diretamente à ciência quântica”, explica.

Tecnologia quântica

Apesar de uma produção acadêmica de ponta, amplamente reconhecida no cenário internacional, o Brasil ainda engatinha no desenvolvimento de tecnologias quânticas aplicadas. A lacuna entre a excelência científica e a capacidade

tecnológica do país salta aos olhos em exemplos emblemáticos: o Brasil ainda não fabrica lasers com a precisão necessária para comunicação quântica – tecnologia dominada por países como os EUA desde os anos 1960. Também não produz junções Josephson, dispositivos supercondutores essenciais para os chips quânticos utilizados por gigantes como IBM e Google, como explica Ivan Oliveira. “A produção acadêmica do Brasil na área de Informação Quântica – que engloba computação, comunicação e sensores – é robusta e de muita boa qualidade, com amplo reconhecimento internacional. No entanto, no que diz respeito ao desenvolvimento das chamadas tecnologias quânticas, sejam elas de primeira ou segunda geração, a participação brasileira é essencialmente nula”, afirma.

Para reverter esse quadro, diversas iniciativas públicas e privadas têm buscado estruturar um ecossistema nacional de ciência, tecnologia e inovação em informação quântica. Um dos destaques é o investimento de cerca de R\$ 9 milhões do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) para criar três redes nacionais de comunicação quântica. A primeira será coordenada por Daniel Felinto, na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); a segunda, por Celso Villas-Bôas, na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar); e a terceira – a Rede Rio Quântica – por Antônio Zelaquett Khoury, que está lançando um feixe de fótons

sobre a baía de Guanabara, no Rio de Janeiro, conectando a CBPF à Universidade Federal Fluminense (UFF), e também interligando por cabos de fibra óptica a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), a Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), o CBPF e o Instituto Militar de Engenharia (IME) (Figura 2).

No campo da computação quântica, os desafios são ainda maiores. Desde 2022, um projeto conjunto entre o CBPF e a Unicamp, financiado por Petrobras, Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (Faperj) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), busca desenvolver o primeiro chip quântico brasileiro, com aporte inicial de R\$ 23 milhões e previsão de mais R\$ 8 milhões. Os primeiros protótipos já estão em fase de impressão, mas

a produção em escala ainda está distante.

Esse avanço tecnológico vem acompanhado de investimentos em formação de recursos humanos. Um levantamento recente evidencia que membros do INCT-IQ já orientaram mais de 590 teses de doutorado e 790 dissertações de mestrado na área. O esforço começou em 2000, com o primeiro Instituto do Milênio, e hoje resulta em uma comunidade científica distribuída por todo o país – porém, foi interrompido no primeiro edital. “É um esforço que a comunidade fez em formação de recursos humanos que vem desde o primeiro Instituto do Milênio de Informação Quântica, do ano 2000. Hoje temos pesquisadores da área desde Natal (RN) até Santa Maria (RS), com muita capilaridade”, destaca Liliana Sanz de la Torre.

Além da formação acadêmica, uma nova frente se abre

com o Centro de Competência em Tecnologias Quânticas, criado pela Embrapii com apoio do MCTI. Com orçamento de R\$ 60 milhões, o centro busca capacitar profissionais técnicos de diferentes áreas para atuarem diretamente na indústria quântica nacional.

Outro marco importante é a criação do primeiro Laboratório de Tecnologias Quânticas do CBPF, no Rio de Janeiro. Equipado com refrigerador de diluição e evaporadora – que permitem fabricar e testar dispositivos supercondutores em temperaturas próximas ao zero absoluto – o laboratório foi viabilizado com recursos da Finep e apoio de agências como CNPq, Faperj e Fapesp. Atuará em três frentes principais: computação, sensores e comunicação. Serão produzidos chips com junções Josephson, dispositivos como os SQUIDS (magnetômetros supercondutores), amplificadores paramétricos, detectores de fótons e circuladores. O CBPF já tem tradição no processamento de informação quântica com Ressonância Magnética Nuclear (RMN), técnica usada há mais de duas décadas na instituição. O SENAI CIMATEC também se destaca no setor industrial com o Centro de Competência Embrapii em Tecnologias Quânticas, o QullN (Quantum Industrial Innovation), focado em sistemas de distribuição de chaves quânticas com variáveis contínuas (CV-QKD), somando-se ao esforço nacional para que o país não apenas consuma, mas também produza tecnologia de ponta.



Fonte: Tatiana Azzi NCS/CBPF. Reprodução

Figura 2. Experimentação com o feixe de laser que a Rede Rio Quântica utilizará para ligar a UFF ao CBPF.

Financiamento e políticas públicas: o desafio da articulação

Enquanto o mundo acelera os investimentos na chamada “segunda revolução quântica”, o Brasil corre para não perder uma nova janela histórica. O financiamento global em tecnologias quânticas já ultrapassou os US\$ 40 bilhões e pode chegar a US\$ 106 bilhões até 2040, segundo o Quantum Economy Blueprint, divulgado pelo Fórum Econômico Mundial em janeiro de 2024. A aposta é clara: essas tecnologias vão transformar áreas como segurança digital, sensores de alta precisão e, sobretudo, a computação.

Países como China, Canadá, Reino Unido e Estados Unidos lideram a corrida. A China concentra quase metade dos investimentos globais e domina a área de comunicação quântica. O Canadá investiu mais de US\$ 1 bilhão na última década, e o Reino Unido lançou a National Quantum Strategy, com 2,5 bilhões de libras para os próximos dez anos. Só o orçamento federal dos Estados Unidos para P&D de tecnologias quânticas foram estimados em mais de US\$ 1 bilhão em 2024, de acordo com a National Quantum Initiative. Um mapeamento detalhado está disponível na plataforma Qureca.

O Brasil, embora ainda distante desses números, começou a reagir. A trajetória nacional teve início nos anos 2000, com a criação do Instituto do Milênio de

“A física é uma ciência experimental. É nos laboratórios que as grandes teorias são testadas, confirmadas ou descartadas. E é desses laboratórios que surgem tecnologias como os monitores de cristal líquido ou a internet.”

Informação Quântica – iniciativa do MCTI com apoio do Banco Mundial. O programa foi essencial para formar doutores que hoje lideram grupos de pesquisa em todo o país. Em 2009, surgiu o INCT-IQ, reunindo mais de 20 grupos e 100 cientistas de áreas como física atômica, teoria da informação quântica e ciência da computação. “Desde o início dos anos 2000, com a criação do primeiro Instituto Milênio de Informação Quântica, a área vem se desenvolvendo no Brasil. Novos doutores se formaram dentro deste projeto e hoje são lideranças importantes. A maior evolução ocorreu nos grupos teóricos. Entre os experimentais, grupos de ótica quântica e comunicação quântica importantes se desenvolveram principalmente no Rio de Janeiro, São Paulo, Belo Horizonte e Recife”, analisa Ivan Oliveira.

Em outubro de 2023, a Embrapii anunciou mais um

Centro de Competência em Tecnologias Quânticas, com foco em comunicação quântica e investimento inicial de R\$ 60 milhões, como parte da iniciativa Future of Industry. O centro integra uma rede de sete unidades especializadas, totalizando R\$ 463 milhões. Já em 2024, a Fapesp lançou o programa QuTla (Quantum Technologies InitiaTive), prevendo R\$ 150 milhões para pesquisas em computação, sensores e comunicação ao longo de cinco anos. Em 2024, R\$ 25 milhões foram empenhados na repatriação de cinco jovens pesquisadores através do QuTla, que estão desenvolvendo suas pesquisas em São Paulo. “A Embrapii hoje é a maior iniciativa concentrada num único tema de tecnologias quânticas da América Latina, não só do Brasil. São R\$ 60 milhões para serem investidos em 42 meses. É um prazo curto, menos de cinco anos. Então realmente é algo grande”, afirma Gustavo Wiederhecker.

Educação e futuro: formar para transformar

Embora esteja por trás de tecnologias que usamos diariamente – como telas de LCD, lasers e a própria internet —, a física quântica ainda é praticamente ausente no ensino básico brasileiro. Enquanto outros países já formam engenheiros quânticos e integram o tema aos currículos do ensino médio, o Brasil emperra na burocracia e na falta de reconhecimento institucional à divulgação científica.

Nos cursos superiores de Física e em alguns de Engenharia, a mecânica quântica já integra a grade obrigatória. Além disso, há um movimento crescente para incluir conteúdos específicos sobre tecnologias quânticas. A formação de profissionais especializados é apontada por especialistas como um dos principais fatores para impulsionar o desenvolvimento das ciências e tecnologias quânticas no Brasil. Nesse contexto, surgiu em Salvador (BA) a primeira instituição dedicada a esse propósito: o QullIN — *Quantum Industrial Innovation*, o primeiro centro de competência em tecnologias quânticas do país, criado no Cimatec com investimento estratégico da Embrapii e do MCTI. “A engenharia, especialmente a elétrica e a de computação, começa a perceber que precisa desses conhecimentos para inovar”, avalia Liliana Sanz de la Torre. No entanto, a atualização curricular nos cursos superiores brasileiros ainda é um processo lento e burocrático. “A física é uma ciência experimental. É nos laboratórios que as grandes teorias são testadas, confirmadas ou descartadas. E é desses laboratórios que surgem tecnologias como os monitores de cristal líquido ou a internet”, destaca. Para ela, a formação de mão de obra qualificada é atualmente um dos maiores gargalos para o crescimento do país: “Em um momento em que o Brasil busca melhorar a qualificação técnica e superior dos seus profissionais, sonhando com um lugar entre os países desenvolvidos, investir em física e ciência é estratégico”.

“Em um momento em que o Brasil busca melhorar a qualificação técnica e superior dos seus profissionais, sonhando com um lugar entre os países desenvolvidos, investir em física e ciência é estratégico.”

Se o desafio é grande no ensino superior, no ensino médio a lacuna é ainda mais crítica. “Nossos jovens terminam o ciclo básico ignorando um século de revolução científica”, alerta Liliana Sanz de la Torre. Ivan Oliveira reforça a urgência de capacitar professores e atualizar os currículos escolares, destacando que muitos docentes estão interessados, mas enfrentam resistência por parte de gestores e burocracias institucionais. “No que diz respeito ao Ensino Médio, acredito ser da maior urgência preparar os professores e introduzir nos currículos matérias ligadas a este tema, inclusive para informar os estudantes das possibilidades de emprego que estão surgindo no mundo todo”, afirma. Além disso, há o problema gravíssimo da fuga de jovens cientistas.

Apesar das dificuldades, algumas iniciativas têm buscado mudar esse cenário. O Centro Internacional de Física Teórica (ICTP) organizou recentemente uma escola de verão dedicada à formação

de professores latino-americanos em mecânica quântica. Já programas de mestrado profissional, como os da UFU e do CBPF, vêm desenvolvendo materiais didáticos acessíveis para facilitar a introdução desses conceitos nas salas de aula. Um exemplo é o livro escrito por Marcel Novaes e Nelson Studart, “Mecânica Quântica Básica”, pensado para quem está tendo o primeiro contato com o tema. A Sociedade Brasileira de Física publica as revistas “Revista Brasileira de Ensino de Física” e a “Física na Escola”, e a Sociedade Brasileira de Química edita a “Química Nova” e a “Química Nova na Escola” que discutem como a física e a química modernas podem e devem ser introduzidas nas escolas básicas.

A divulgação científica também cumpre um papel essencial nessa aproximação. A revista *Questão de Ciência* combate mitos e desinformações sobre física quântica. A iniciativa Verifísica, da Sociedade Brasileira de Física (SBF), atua na mesma direção, enfrentando fake news científicas. O projeto Bate-Papo Quântico, coordenado por Marcelo Terra Cunha na Unicamp, se fortalece como ação de extensão, com equipe ampliada e linguagem acessível. Há também o livro de divulgação “A Revolução dos q-Bits”, de autoria de Ivan S. Oliveira e Cássio Vieira Leite. Outro impulso importante veio da recente chamada pública do CNPq para celebrar o Ano Internacional da Ciência e Tecnologia Quânticas. Com cerca de R\$ 2 milhões destinados a projetos de divulgação científica, a expectativa é que

os resultados dessas ações comecem a aparecer já ao longo de 2025.

Ainda assim, o reconhecimento institucional da divulgação científica segue tímido. “Divulgar ciência no Brasil não tem o mesmo status que publicar em revistas de alto impacto”, critica Ivan Oliveira. “Quem faz divulgação, muitas vezes, é visto como pesquisador de segunda classe. Isso precisa mudar.” Para os especialistas, o desafio não é somente curricular, mas também cultural. “Se não soubermos captar a atenção dos jovens para a ciência, que compete

com TikTok, Instagram e conteúdos apelativos, arriscamos perder talentos”, alerta Gustavo Wiederhecker. Ele lembra que a ciência dificilmente oferece altos salários, e que sua força motriz é a curiosidade, a paixão por descobrir.

Levar a ciência quântica às escolas públicas, formar professores, criar laboratórios, promover visitas, tornar o tema parte do cotidiano dos jovens – essas são estratégias fundamentais. Mas, para deixarem de ser iniciativas isoladas e ganharem escala, precisam ser transformadas em política de Estado. É hora de preparar

os alunos de 2035 – que hoje estão nos bancos do ensino médio – para um futuro que já começou.

Chris Bueno é jornalista, escritora, divulgadora de ciências, editora-executiva da revista *Ciência & Cultura*, e mãe apaixonada por escrever (especialmente sobre ciência).

Priscylla Almeida é jornalista e produtora de conteúdo para áreas de saúde e ciência, marketing e publicidade. Apaixonada por filmes, gatinhos e pela rotina dinâmica que a comunicação traz: o contato com gente, a curiosidade de assuntos diversos, a troca.