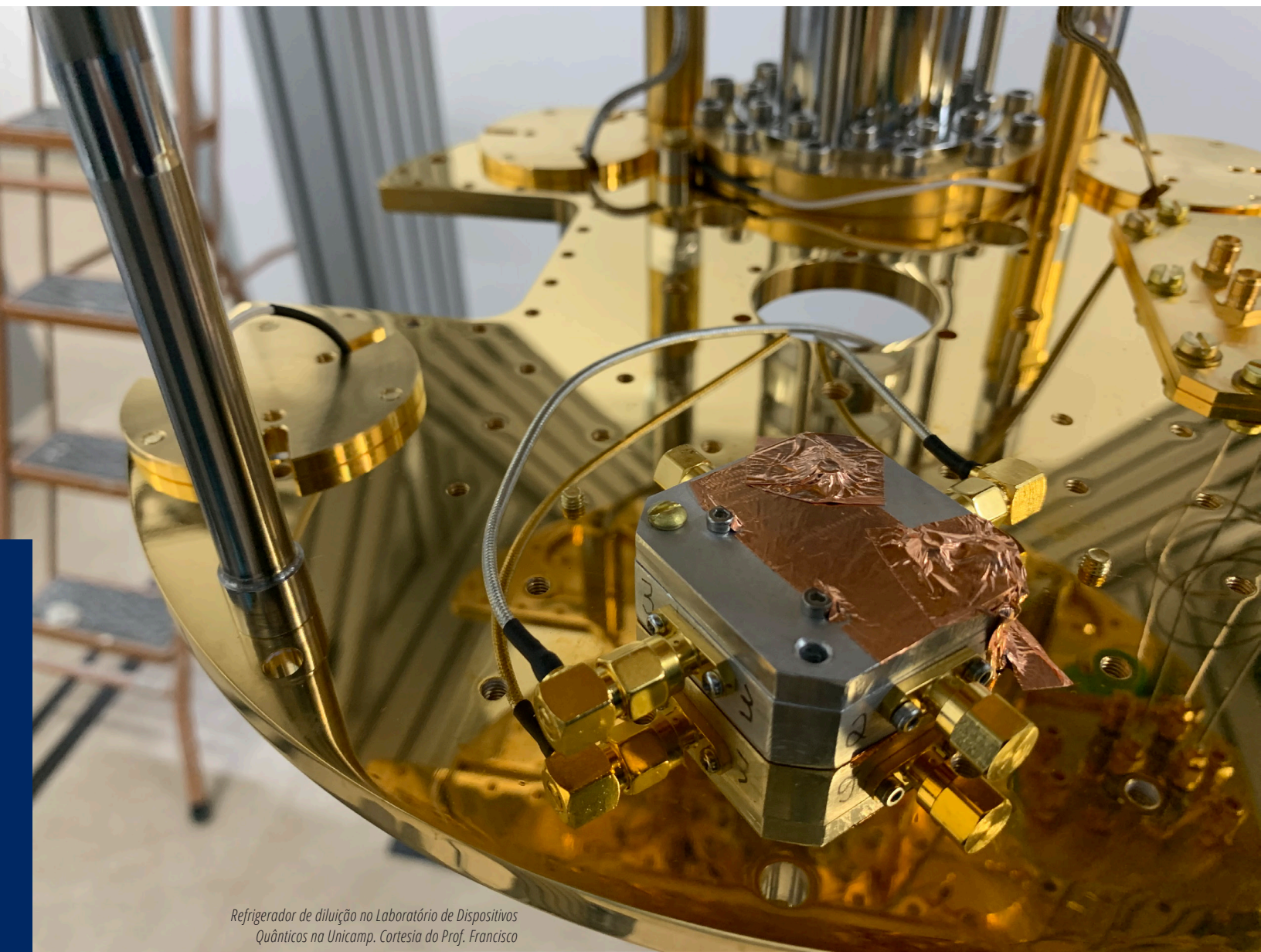

ROTA PARA O DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS E CIÊNCIAS QUÂNTICAS NO BRASIL

Maio 2024



*Refrigerador de diluição no Laboratório de Dispositivos
Quânticos na Unicamp. Cortesia do Prof. Francisco*

COORDENAÇÃO

COORDENAÇÃO CONFERÊNCIA TEMÁTICA

Antônio Zelaquett Khoury - UFRJ
 Felipe Fanchini - UNESP
 Gustavo Wiederhecker - UNICAMP
 Luiz Davidovich - UFRJ
 Marcelo França Santos - UFRJ
 Marcelo Terra Cunha - UNICAMP

COORDENAÇÃO QUINTEC

Ben-Hur Borges - USP
 Celso Villas-Bôas - UFSCAR
 Frederico Brito - USP
 Gustavo Wiederhecker - UNICAMP
 Marcelo Terra Cunha - UNICAMP
 Paulo Nussenzeig - USP
 Philippe Courteille - USP

PATROCINADORES



COMITÊ INTERNACIONAL

Alexia Auffèves
CNRS MajuLab, Singapore
 Artur Ekert
University of Oxford, UK
 Cristiane Morais Smith
University of Utrecht, The Netherlands
 Fernando Brandão
Caltech/Amazon, USA
 Juan Pablo Paz
Universidad de Buenos Aires, Argentina and Vice-minister of Science
 Luiz Davidovich
UFRJ, Brazil and Texas A&M, USA
 Peter Zoller
Universität Innsbruck and IQOQI, Austria
 Philippe Bouyer
QuantumDeltaNL, The Netherlands and Université de Bordeaux, France
 Rainer Blatt
Munich Quantum Valley, Germany and Universität Innsbruck, Austria
 Simon Gröblacher
TU Delft and QphoX, The Netherlands
 Stephen Walborn
University of Concepción e Seque Quantum, Chile
 Wolfgang Schleich
Universität Ulm, Germany



Equipe no workshop realizado no Instituto Principia em fevereiro de 2023. Da esquerda para a direita, de cima para baixo, B. Borges, P. Courteille, M. T. Cunha, J. P. Paz, L. Davidovich, F. Brandão, C. Villas-Bôas, M. F. Santos, A. Ekert, G. Wiederhecker, W. Schleich, P. Bouyer.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO

A necessidade de uma iniciativa Quântica	4
Motivação	5

MISSÃO

Rota	6
------	---

TECNOLOGIAS QUÂNTICAS

Sobre Tecnologias Quânticas	7
-----------------------------	---

OBJETIVOS

Objetivos específicos	8
-----------------------	---

DESAFIOS

Desafios estratégicos	9,10
-----------------------	------

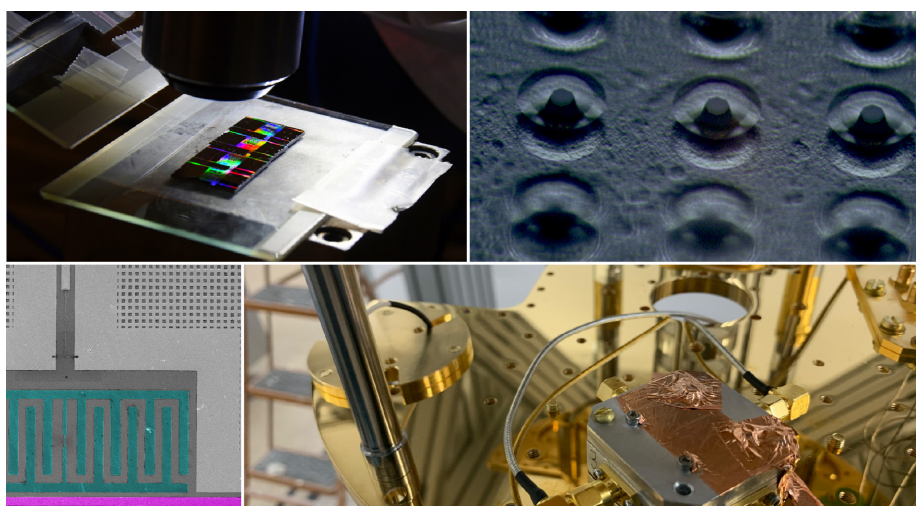
AÇÃO

Propostas de Ação	11,12
-------------------	-------

Este documento corresponde à versão atualizada do documento anterior elaborado pela QuInTec, após o Workshop organizado entre 30/01 e 17/02/2023, no Instituto Principia. A atualização inclui perspectivas discutidas durante a Reunião Temática de Ciência e Tecnologias Quânticas realizada nos dias 5 e 8 de maio de 2024, preparatória para a 5ª Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação.

A URGÊNCIA DE UMA INICIATIVA QUÂNTICA EM SÃO PAULO, BRASIL E NA AMÉRICA LATINA.

Originadas a partir de descobertas inovadoras na física no início do século XX, as tecnologias quânticas são a chave para uma indústria que representa hoje um terço do Produto Interno Bruto global do mundo. Impulsionada pela invenção do transistor e do laser, a indústria se ramifica hoje em muitas áreas, incluindo eletrônicos, óptica e fotônica. A invenção de novas técnicas para manipulação de estados quânticos e geração de emaranhamento, premiadas com vários Prêmios Nobel no passado, incluindo o de 2022, e avanços na



Superior esquerda) Chip de fotônica de silício sob uma objetiva de microscópio; superior direita) ressonadores ópticos de microcunha usados para geração de pente de frequência óptica; Inferior esquerda) junção de transmon supercondutor; Inferior direita) Refrigerador de diluição. Todas as imagens são de grupos de pesquisa da Unicamp.

ciência da informação durante os últimos 25 anos prepararam o terreno para uma segunda onda de tecnologias baseadas em quantum chamada Revolução Quântica 2.0. Em termos de vantagens econômicas, militares e sociais, as apostas dessa revolução são tão importantes que desencadearam uma feroz corrida internacional pela dominação tecnológica, na qual o Brasil está envolvido em uma acirrada competição por tecnologias inovadoras. Apesar de um começo tardio, tendo uma forte presença científica no campo, vários empreendedores do setor privado, um grande mercado interno e setores econômicos prósperos, o Brasil ainda pode alcançar a liderança em certas tecnologias quânticas. Não há mais tempo a perder.

MOTIVAÇÃO



**SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
GOALS**

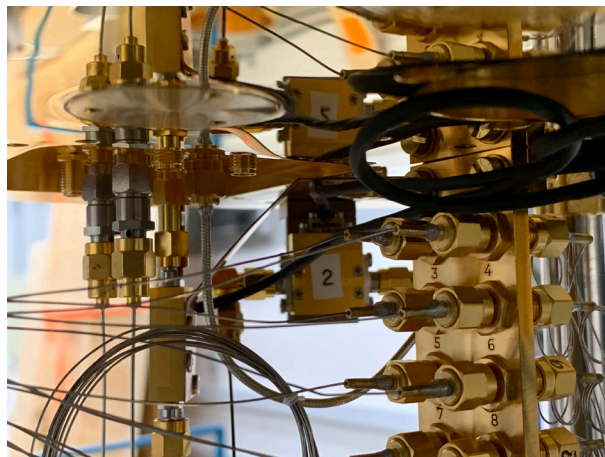
O enorme potencial desses desenvolvimentos está impulsionando iniciativas quânticas em muitos países e certamente levará a tecnologias disruptivas que definirão o cenário econômico nos próximos anos. Estudos recentes estimam o impacto das tecnologias quânticas em temas amplos alinhados com os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) estabelecidos pela ONU em 2015. Avanços na computação quântica e sensoriamento, por exemplo, podem impactar diretamente pelo menos 5 ODS:

- ♦ ODS 2: Fome zero — Promoção de métodos computacionais e de otimização para investigar as etapas complexas da produção de fertilizantes em escala molecular;
- ♦ ODS 3: Saúde e bem-estar — Aceleração e redução de custos no desenvolvimento de medicamentos. Desenvolvimento de sensores não invasivos para monitoramento de doenças neuronais (por exemplo, Alzheimer e Parkinson por meio de magnetoencefalogramas baseados em sensores quânticos).
- ♦ ODS 6: Água potável e saneamento — Melhoria dos sistemas de purificação de água por meio de simulações de sistemas complexos. Sondagem e monitoramento de aquíferos com gravímetros quânticos.
- ♦ ODS 7: Energia limpa e acessível — Otimização de sistemas de captura, conversão e distribuição de energia. Além do suporte computacional na otimização da alocação de recursos, o impacto dos sensores quânticos no monitoramento distribuído da rede poderia ser disruptivo, assim a cibersegurança da rede elétrica poderia ser aprimorada.
- ♦ ODS 13: Ação contra a mudança global do clima — Otimização de modelos climáticos e métodos de análise. Por exemplo, a otimização de rotas de frotas de veículos é um problema muito complexo para computadores clássicos, mas resolvido de forma eficiente com algoritmos quânticos. Algoritmos quânticos também podem ser aplicados a problemas de dinâmica de fluidos, onde podem contribuir para melhorar modelos de previsão do tempo.



MISSÃO

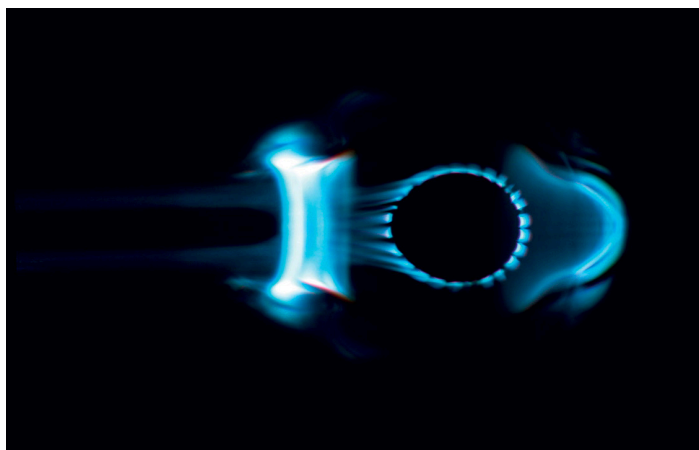
A iniciativa busca promover colaborações entre empresas do setor privado e pesquisadores acadêmicos, ao mesmo tempo em que oferece incentivos para o estabelecimento de startups em tecnologias de informação quântica. Ela se baseia em nossa comunidade científica internacionalmente reconhecida de pesquisadores trabalhando nos fundamentos da informação quântica e na força de vários setores de nossa economia. Além disso, abre caminho para o desenvolvimento de um ecossistema de tecnologia quântica que abrange áreas multidisciplinares como agricultura, medicina, comunicação segura e computação, ajudando nossa sociedade a melhorar seu bem-estar e garantir sua soberania.



Refrigerador de diluição no Laboratório de Dispositivos Quânticos da Unicamp. Cortesia do Prof. Francisco Rouxinol.

“

abre caminho para o desenvolvimento de um ecossistema de tecnologia quântica que abrange áreas multidisciplinares



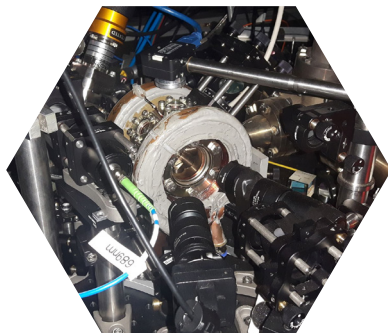
Ressonador óptico de microesfera de sílica coberto com uma camada de grafeno para aprimorar as propriedades ópticas não lineares. Colaboração entre MackGraphe e Unicamp. Foto de Kamila Tieppo. <https://revistapesquisa.fapesp.br/grafeno-sobre-microesferas/>

TECNOLOGIAS QUÂNTICAS

As Tecnologias de Informação Quântica (TIQ) são comumente divididas em três áreas principais: processamento, comunicação e sensoriamento, cada uma com seus próprios desafios e oportunidades.

PROCESSAMENTO

Apesar do sucesso dos computadores clássicos, ainda existem tarefas para as quais o processamento de dados convencional é inviável, devido ao tempo proibitivo e aos recursos computacionais necessários para resolver esses problemas. Exemplos incluem a fatoração de números grandes (segurança de dados), determinação de compostos mais adequados para células solares (ciência de materiais), projeto de reações químicas para fixar nitrogênio em fertilizantes (indústria química) e obtenção de soluções ótimas para problemas de logística (indústria e transporte) e finanças (bancos), para citar apenas alguns, que claramente vão além dos limites da academia.



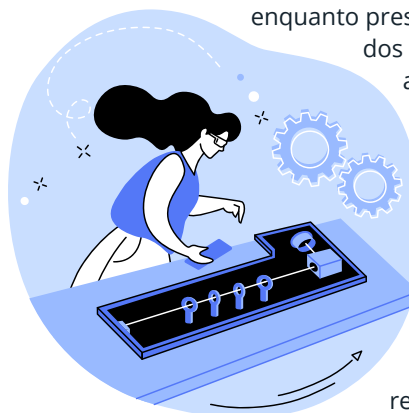
Gravímetro de interferência de ondas de matéria na Universidade de São Paulo, São Carlos. Cortesia de Philippe Courteille.

COMUNICAÇÕES

A espinha dorsal da criptografia moderna que protege a transmissão de dados é baseada na distribuição de chaves públicas, que permite compartilhar uma chave de criptografia por meio de uma rede pública

enquanto preserva a privacidade dos dados. Com o ritmo acelerado em que a computação quântica está avançando, os sistemas atuais amplamente utilizados em criptografia precisam se modernizar. Embora haja propostas robustas recentes que permitem,

em princípio, contornar essa catástrofe de segurança imposta por algoritmos quânticos, a distribuição quântica de chaves tem uma vantagem porque é baseada nas leis fundamentais da física quântica. Além disso, a necessidade de estabelecer comunicação entre sistemas quânticos é fundamental tanto como estratégia de distribuição de chaves criptográficas privadas quanto para desbloquear todo o potencial de sensores ou computadores quânticos distribuídos.



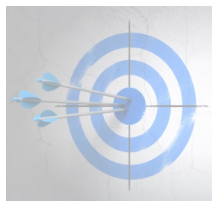
SENSORIAMENTO

Os sensores quânticos são dispositivos que empregam propriedades quânticas de objetos para medir grandezas físicas como campos magnéticos e elétricos, tempo e frequência, aceleração e rotação, temperatura e pressão.

Os sensores quânticos se beneficiam da fragilidade das correlações quânticas para melhorar sua sensibilidade e resolução em ordens de grandeza. Esta perspectiva incentiva esforços para projetar especificamente sistemas quânticos, manipulações e algoritmos para fins de sensoriamento e relacioná-los a tópicos urgentes como saúde, energia e agricultura.



OBJETIVOS



A iniciativa é baseada em três pilares fundamentais, a saber, ciência, tecnologia e inovação, cujos principais objetivos são:

- ◇ promover colaborações entre o setor privado e a academia;
- ◇ atrair e reter jovens pesquisadores e empreendedores talentosos;
- ◇ desenvolver uma força de trabalho altamente qualificada em ciência e tecnologia da informação quântica;
- ◇ impulsionar a visibilidade internacional e a competitividade tanto científica quanto economicamente;
- ◇ definir metas tecnológicas a serem alcançadas por meio da cooperação;
- ◇ aumentar a conscientização pública e a compreensão da ciência e tecnologia quântica.

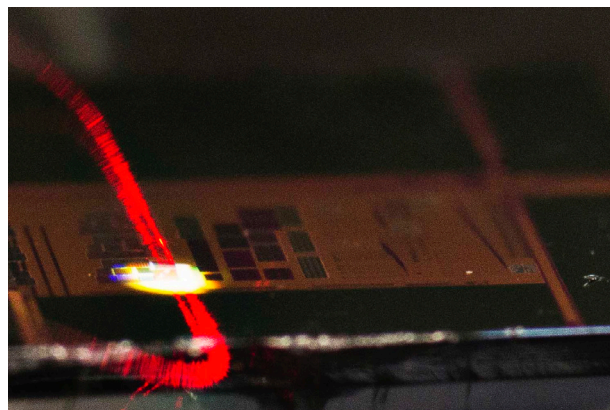
TIQ	Ciência	Tecnologia	Inovação
Sensores	Compreender e desenvolver técnicas de sensoria-mento que aproveitem estados quânticos específicos.	Criar prtótipos de sensores para tarefas específicas.	criar estratégias para aumentar a sensibilidade, melhor proteger, acumular e transmitir dados.
Comunicações	Entender a comunica-ção segura aproveitando as pro-priedades quânticas.	Sistemas de co-municação ba-seados em QKD e algoritmos de criptografia pós-quântica.	integrar dispositi-vos quânticos em redes de comuni-cação segura.
Processamento	Compreen-der os protocolos de emara-nhamento quântico e desenvolver algoritmos.	Aplicar algorit-mos quânticos, desenvolver plataforma de computação	desenvolver mó-dulos e aplicações para computação quântica.

Aplicações	Ciência	Tecnologia	Inovação
Saúde	levantamento dos benefícios que a saúde humana (com atenção especial às doenças tropicais negligenciadas), saúde animal, vegetal e planetária podem obter com um melhor sensoriamento.	desenvolver e prototipar sensores para aplicações em saúde, simuladores quânticos para novos medicamentos, algoritmos que identificam novas doenças a partir da análise de grandes volumes de dados de pacientes.	desenvolver novas estraté-gias para transporte, manu-tenção e redução de custos de equipamentos, melhorar a eficiência do trabalho com big data e inventar novos medicamentos.
Agricultura	levantar os benefícios poten-ciais das cadeias de produção rural a partir de um melhor sensoriamento de insumos, otimização da distribuição, simulação de moléculas e uso de recursos.	prototipar sensores para aplicações na agricultura, seja para melhoria da produtivi-dade, seja para certificação e rastreamento de poluentes.	desenvolver novas estraté-gias para transporte, manu-tenção e redução de custos de equipamentos, melhorar a eficiência do trabalho com big data e criar novos compostos.
Energia	levantar os benefícios poten-ciais da computação quântica para a produção de energia verde, distribuição e fabricação de baterias.	desenvolver algoritmos e simuladores quânticos para projetar novas moléculas e otimizar a distribuição de energia.	desenvolver novas estraté-gias para distribuição de energia, novos processos para produção de energia verde, como células de hidrogênio.
Finanças	avaliar os potenciais benefícios da computação e comunicação quânticas para produtos finan-ceiros e internet banking.	Desenvolver algoritmos para otimização de portfólio e prototipar dispositivos de comunicação para comunica-ção segura.	desenvolver novas estraté-gias para aprimorar otimiza-dores existentes e elevar um novo nível de segurança aos protocolos de comunicação existentes.



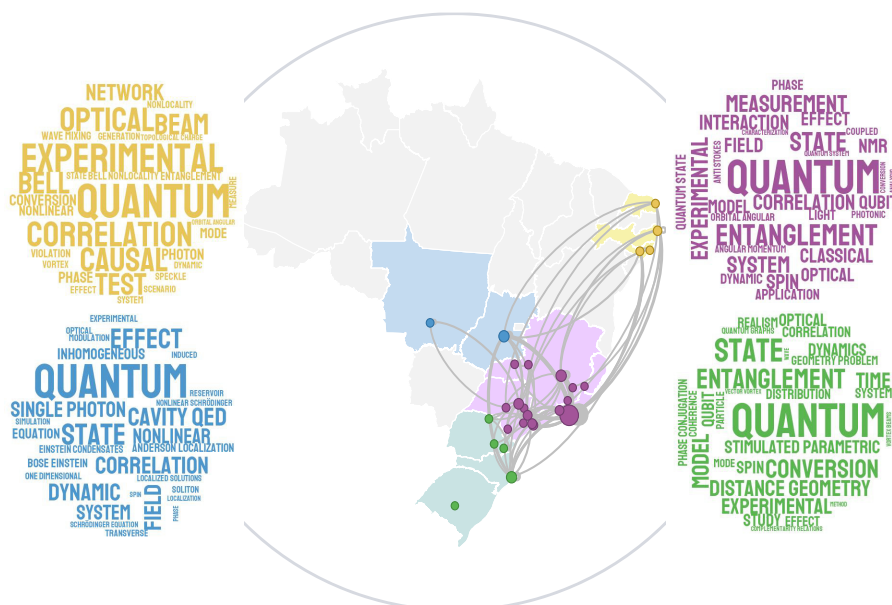
DESAFIOS

A iniciativa se baseia em grupos de pesquisa existentes e projetos em andamento apoiados pela FAPESP, CAPES, CNPq e Serrapilheira, em particular, Centros de Pesquisa e Inovação (CEPID), Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT), Projetos Temáticos (PT) e bolsas concedidas a Jovens Pesquisadores (JP). Hoje, sem nenhum esforço de coordenação, apenas o Estado de São Paulo conta com pelo menos 40 pesquisadores em universidades ou centros de pesquisa trabalhando diretamente em pesquisa e tecnologia quântica. Em nível nacional, mais de 100 pesquisadores são membros do INCT em Informação Quântica. Encorajada pelas contribuições de pesquisadores renomados de todo o país com formação em física, química e engenharia, uma iniciativa do Estado de São Paulo deveria ser a melhor estratégia para irradiar para outros estados do Brasil, cooperar com países da América Latina e liderar a interação indústria-academia por meio de bancos de testes experimentais colaborativos e infraestrutura de nanofabricação.



A acoplamento de luz a um chip de fotonica de silício no Laboratório de Pesquisa de Dispositivos, Unicamp, Campinas. Cortesia de Gustavo Wiederhecker e Thiago Alegre.

“ *apenas o Estado de São Paulo conta com pelo menos 40 pesquisadores em universidades ou centros de pesquisa trabalhando diretamente em pesquisa e tecnologia quântica*

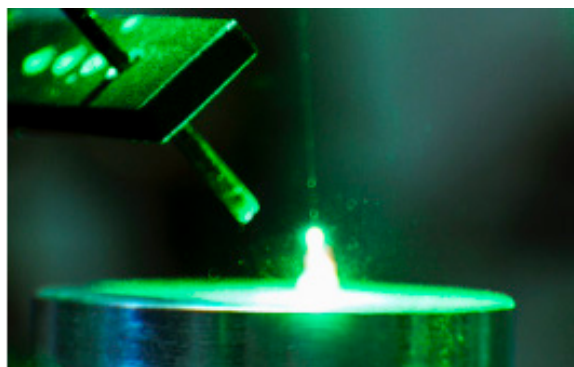


Rede de colaboração científica dos pesquisadores do INCT-IQ (Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Informação Quântica). Adaptado de Oliveira, R. et al. Rev. Bras. Ensino Fís. 44, 2022 - <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2022-0189>.

DESAFIOS

TECNOLOGIA

Um ponto comum de todas as iniciativas em todo o mundo é o envolvimento de engenheiros. A visibilidade proporcionada pela iniciativa certamente será um catalisador para aumentar esse envolvimento. Programas atuais de fomento à pesquisa, como o Centro de Pesquisa em Engenharia (CPE) e o Comitê Gestor da Internet (CGI), são uma boa abordagem para aumentar a interdisciplinaridade da pesquisa não apenas no Estado de São Paulo, mas também com outros grupos no Brasil.



Espectroscopia de Queima Induzida por Laser (LIBS) para análise elemental do solo. O sistema está sendo comercializado pela startup Agrorobótica. Cortesia de Débora Milori. Foto de Embrapa Instrumentação - Flávio Ubiali.

INOVAÇÃO

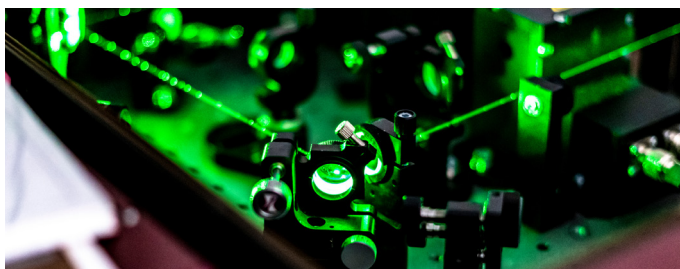
Promover a inovação é um aspecto-chave desta proposta. Nesse sentido, organizamos workshops sobre ciência e tecnologia quântica com a comunidade científica e atores do setor privado (IBM, Google, Microsoft, Petrobras, Itaú e outros) para compartilhar nossos objetivos e expectativas com esta iniciativa. No entanto, o número de startups relacionadas às tecnologias quânticas, como NtropsiQ, Dobsliit e Brasil Quantum, todas localizadas no Estado de São Paulo, ainda é pequeno. Financiamento focados em startups de tecnologias quânticas, poderiam desempenhar um papel transformador em nosso ecossistema tecnológico. Promover a inovação é um aspecto-chave desta proposta.

EDUCAÇÃO E DISSEMINAÇÃO

Entendemos que uma iniciativa dessa envergadura deve contemplar um programa sólido de educação e divulgação, tanto para capitalizar o potencial revolucionário das tecnologias quânticas quanto para engajar a comunidade científica. Também é essencial modernizar o currículo dos cursos de graduação para expandir essa comunidade, privilegiando temas relacionados à teoria quântica. A criação de Certificados Especializados em Engenharia Quântica (CEEQ) multidisciplinares e interunidades, como já implementado na Escola de Engenharia de São Carlos (USP), é um exemplo. Ainda no âmbito da educação e divulgação, incentivamos a adoção de programas semelhantes aos da FAPESP, como o Programa de Pesquisa em Políticas Públicas (PPPP), Escolas Avançadas (ESPCA) e Escolas em Ciência da Informação Quântica. Este último é especialmente destinado a apoiar estudantes talentosos da América do Sul, como a Escola de Computação Quântica apoiada pelo ICTP/SAIFR e a tradicional Escola e Workshop de Paraty sobre Informação Quântica.

CIÊNCIA

O desenvolvimento tecnológico surge da ciência. Portanto, atrair, reter e desenvolver grupos de pesquisa a médio e longo prazo é essencial para a sustentabilidade do programa.



ATUAÇÃO

O Brasil está enfrentando um desafio importante para acompanhar a competição global pela dominação tecnológica em tecnologias quânticas. Para enfrentar isso, propomos uma série de ações que separamos em dois níveis: um de Coordenação e Fomento, outro de Execução.

Coordenação e Fomento

1. Estimular e bem utilizar da QuTla, a Iniciativa Quântica recém criada pela FAPESP;
2. MCTI e Confap deveriam pensar seus papéis para estabelecer uma forte Iniciativa Quântica Nacional, atualizando e coordenando algumas estruturas existentes ou propondo novas.
3. O Governo Federal deveria envolver vários ministérios e organizações (incluindo MCTI, MDIC, MEC, MME, MRE, MMA, e os Ministérios das Comunicação, Saúde, Agricultura e Defesa; bem como Embrapii, FINEP, BNDES, CNPq e CAPES) para fomentar o ecossistema de Tecnologias Quânticas dentro do Brasil e fortalecer a posição do país no mercado internacional.
4. Criação de um Conselho Federal de Tecnologias Quânticas, com competência técnica, ampla participação do ecossistema e orçamento adequado. Estados que abrigam pesquisa científica na área (como GO, MG, PE, RJ, RN, SC, SP) também deveriam considerar a criação de Conselhos Estaduais de Tecnologias Quânticas.
5. A diplomacia brasileira deveria propor acordos mútuos para fomentar a colaboração entre grupos de pesquisa latino-americanos para fortalecer o ecossistema local, compartilhando conhecimento, bancos de testes experimentais e infraestrutura de nanofabricação.
6. Estabelecimento de think tanks, especialmente se envolverem múltiplos parceiros. Essas organizações podem reunir especialistas da academia, indústria e governo para colaborar e compartilhar seu conhecimento e desbloquear todo o potencial das tecnologias quânticas no Brasil.

ATUAÇÃO

Execução

Para que o trabalho do Conselho Federal de Tecnologias Quânticas (CFTQ) seja efetivo, propomos

1. Criação da Agência Nacional de Tecnologias Quânticas, como braço executivo do CFTQ
2. A primeira tarefa da ANTQ é coordenar a elaboração do Roadmap Brasileiro de Tecnologias Quânticas.
3. Criação do Centro Brasileiro de Tecnologias Quânticas, como braço operacional e integrador. Este centro deve:
 - ♦ Funcionar no modelo facility e testbed, permitindo a concentração de equipamentos e competências, com uso acessível por toda a comunidade.
 - ♦ Ser um espaço acolhedor para eventos científicos, de divulgação e de formação continuada.
 - ♦ Receber visitantes de curta e de longa durações, permitindo que a comunidade já estabelecida se sinta bem representada.
 - ♦ Ser um espaço privilegiado para receber jovens com talento para iniciarem trabalhos inovadores.
 - ♦ Estar integrado a um ambiente de empreendedorismo, com estímulo e apoio à criação ou à atração de startups.

Convidamos todos os pesquisadores, agências, empresas e startups envolvidas com Tecnologias da Informação Quântica ou tecnologias de suporte (como eletrônica, fotônica, aeroespacial, sensoriamento) a participarem do esforço coletivo para a construção de um ecossistema de TIQ viável e auto-sustentável.