

Mapa das Tecnologias Quânticas no Brasil: Plataforma de Observação do Ecossistema Nacional

Diego Abreu¹, Gabriel Vassoler¹, Fernando Farias¹

¹Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP)

{diego.abreu, gabriel.vassoler, fernando.farias}@rnp.br

Abstract. *Quantum technologies, including quantum computing, communication, and sensing, are receiving increasing global attention and investment. Understanding national ecosystems in this area is important for collaboration and technological development. This paper presents the Quantum Technologies Map, a platform developed by the Brazilian National Research and Education Network (RNP) to organize and visualize research, development, and innovation initiatives in quantum technologies in Brazil. The platform integrates information about researchers, research groups, projects, and companies, providing an interactive view of the national ecosystem focused on applied quantum technologies. Preliminary results highlight the current landscape and the main opportunities and challenges for quantum technologies in Brazil.*

Resumo. *As tecnologias quânticas, incluindo computação quântica, comunicação quântica e sensoriamento quântico, vêm recebendo crescente atenção e investimento global. Compreender os ecossistemas nacionais nessa área é importante para colaboração e desenvolvimento tecnológico. Este artigo apresenta o Quantum Technologies Map, uma plataforma desenvolvida pela Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP) para organizar e visualizar iniciativas de pesquisa, desenvolvimento e inovação em tecnologias quânticas no Brasil. A plataforma integra informações sobre pesquisadores, grupos de pesquisa, projetos e empresas, fornecendo uma visão interativa do ecossistema nacional com foco em tecnologias quânticas aplicadas. Resultados preliminares destacam o cenário atual e os principais desafios e oportunidades das tecnologias quânticas no país.*

1. Introdução

As tecnologias quânticas de segunda geração [Dowling and Milburn 2003] têm recebido crescente atenção da comunidade científica, de governos e do setor industrial. Diferentemente da primeira geração de aplicações baseadas em fenômenos quânticos — como lasers e semicondutores —, a nova geração de tecnologias explora diretamente propriedades fundamentais da mecânica quântica, como superposição, interferência e entrelaçamento, para desenvolver novas capacidades tecnológicas. Entre as principais áreas destacam-se a computação quântica [Steane 1998], comunicação quântica [Gisin and Thew 2007] e sensoriamento quântico [Degen et al. 2017], consideradas estratégicas para a próxima geração de infraestruturas digitais.

Nos últimos anos, diversos países têm anunciado programas nacionais e investimentos significativos no desenvolvimento dessas

tecnologias [Kaur and Venegas-Gomez 2022, Raymer and Monroe 2019]. Estados Unidos, União Europeia, Canadá e China estabeleceram estratégias nacionais e programas de financiamento que envolvem universidades, centros de pesquisa e empresas privadas, com o objetivo de acelerar a transição da pesquisa científica para aplicações tecnológicas e industriais [Putranto et al. 2024]. Nesse contexto, torna-se fundamental compreender como o ecossistema de tecnologias quânticas está estruturado em cada país, incluindo os grupos de pesquisa, empresas, projetos e iniciativas em andamento. No Brasil, embora existam importantes contribuições históricas na área de ciência quântica, a organização e visualização das iniciativas voltadas especificamente para tecnologias quânticas aplicadas ainda é limitada.

Com o objetivo de contribuir para essa lacuna, este trabalho apresenta o Mapa de Tecnologias Quânticas, uma plataforma digital desenvolvida para organizar e visualizar o ecossistema brasileiro de pesquisa, desenvolvimento e inovação em tecnologias quânticas. A plataforma reúne informações sobre pesquisadores, grupos de pesquisa, projetos, empresas e outras iniciativas relacionadas à área, permitindo uma visão integrada do cenário nacional. Diferentemente de levantamentos estáticos ou relatórios pontuais, o mapa foi concebido como uma plataforma aberta e continuamente atualizável, permitindo a incorporação de novas informações ao longo do tempo. O sistema também adota uma abordagem focada em tecnologias quânticas aplicadas, priorizando iniciativas voltadas ao desenvolvimento tecnológico, transferência de conhecimento e inovação. Além da disponibilização pública da plataforma ¹, o projeto também prevê a abertura do código-fonte, permitindo que a ferramenta possa ser adaptada ou replicada em outros contextos ou áreas tecnológicas. Desta forma, a plataforma pode servir de *framework* para o mapeamento de outros ecossistemas tecnológicos.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados. A Seção 3 descreve a metodologia adotada, incluindo as etapas de desenvolvimento do mapeamento, os processos de aquisição de dados e a arquitetura da plataforma. A Seção 4 apresenta a plataforma resultante e as principais funcionalidades do mapa, bem como algumas análises iniciais obtidas a partir dos dados coletados. A Seção 5 discute os principais aspectos observados no ecossistema brasileiro de tecnologias quânticas, destacando oportunidades e desafios. Por fim, a Seção 6 apresenta as perspectivas de evolução da plataforma e possíveis trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Diversos países e organizações têm desenvolvido iniciativas para mapear o ecossistema global de tecnologias quânticas, buscando compreender a evolução desse setor emergente, identificar os principais atores envolvidos e apoiar estratégias de inovação e políticas públicas. Estudos como os de [Knight and Walmsley 2019, Zhang et al. 2019, Kaur and Venegas-Gomez 2022, Raymer and Monroe 2019] apresentam análises sobre o desenvolvimento de iniciativas nacionais e programas estratégicos voltados às tecnologias quânticas em diferentes regiões do mundo, incluindo Europa, Estados Unidos e Ásia. Esses trabalhos normalmente analisam investimentos governamentais, programas de pesquisa e iniciativas industriais, evidenciando o caráter estratégico dessas tecnologias no cenário internacional. A Tabela 1 apresenta a comparação entre a proposta e os trabalhos

¹<https://mapatecnologiasquanticas.testbeds.rnp.br/>

relacionados.

Além da literatura acadêmica, relatórios produzidos por organizações internacionais e empresas de consultoria têm buscado caracterizar o ecossistema global de tecnologias quânticas sob a perspectiva industrial e de mercado. Exemplos incluem relatórios sobre políticas públicas e cadeias de suprimento quânticas, que analisam a evolução do setor, os principais atores industriais e as tendências de investimento [Quantera 2023, The Quantum Insider 2025, McKinsey & Company 2025]. Esses estudos normalmente concentram-se na análise de empresas, startups e cadeias produtivas emergentes, refletindo o movimento recente de transição da pesquisa científica para aplicações tecnológicas e comerciais.

No contexto brasileiro, diversos trabalhos têm buscado discutir o desenvolvimento das tecnologias quânticas sob diferentes perspectivas. Um dos estudos mais abrangentes é apresentado por [Oliveira et al. 2022], que analisa o panorama da pesquisa em tecnologias quânticas no Brasil, incluindo a atuação de pesquisadores, grupos de pesquisa e iniciativas institucionais, com destaque para programas como o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Tecnologias Quânticas (INCT-IQT)². Entretanto, esse estudo concentra-se principalmente na produção científica e na estrutura acadêmica da área, não abordando especificamente a evolução das tecnologias quânticas aplicadas ou o desenvolvimento do ecossistema tecnológico.

Outros trabalhos discutem as tecnologias quânticas sob uma perspectiva estratégica e geopolítica. O estudo apresentado por [Abelém 2026] discute o papel dessas tecnologias no contexto da transformação tecnológica global e seus impactos potenciais para o Brasil. De forma semelhante, [Chaves 2025] analisa o desenvolvimento científico nacional e os desafios para consolidação de capacidades tecnológicas estratégicas. Em uma perspectiva voltada à soberania tecnológica, [Araújo-Moreira et al. 2024] destaca o papel das tecnologias quânticas como elemento central na disputa geopolítica contemporânea e no fortalecimento das capacidades de defesa e segurança nacional, ressaltando sua importância para a soberania tecnológica do país. [Casado and Pamplona 2025] complementa essa discussão ao analisar iniciativas institucionais e diretrizes estratégicas relacionadas ao desenvolvimento dessas tecnologias no contexto das políticas públicas brasileiras.

Outras pesquisas abordam aspectos específicos do ecossistema nacional. O trabalho de [Rocha 2025], por exemplo, discute os avanços relacionados à criptografia pós-quântica e seus impactos para a segurança da informação. Já [Borges and Bastos 2026] apresenta uma análise sobre o mercado de trabalho e a inserção profissional de pesquisadores na área de tecnologias quânticas, destacando desafios relacionados à formação e retenção de talentos. No campo da educação e capacitação, [Frare et al. 2024] apresenta uma revisão sistemática sobre o ensino de computação quântica em nível global, discutindo também reflexões sobre o cenário brasileiro, enquanto [Miano et al. 2024] aborda os desafios da formação de recursos humanos especializados nessa área.

Embora esses trabalhos contribuam significativamente para a compreensão do desenvolvimento das tecnologias quânticas no Brasil, a maior parte deles concentra-se em análises conceituais, revisões de literatura, discussões sobre políticas públicas ou estudos

²<https://fapesp.br/index.php/4939/inct-de-informacao-quantica-inct-iq/1000>

focados em áreas específicas, como formação ou segurança da informação. Ainda são escassos estudos que busquem mapear de forma sistemática e atualizada o ecossistema nacional de tecnologias quânticas, integrando diferentes tipos de atores, como universidades, centros de pesquisa, empresas, startups e iniciativas governamentais.

Nesse contexto, o Mapa de Tecnologias Quânticas proposto neste trabalho busca contribuir para essa lacuna ao desenvolver uma plataforma de observação e organização do ecossistema nacional de tecnologias quânticas. Diferentemente de levantamentos pontuais apresentados em estudos anteriores, a proposta busca estruturar um repositório dinâmico que permita a atualização contínua das informações e a integração de diferentes fontes de dados sobre iniciativas científicas, tecnológicas e industriais relacionadas ao setor. Além disso, a proposta dialoga com iniciativas de observatórios tecnológicos já consolidados no Brasil, como o Observatório de Blockchain ³ e o de Cibersegurança da RNP ⁴, que têm como objetivo monitorar, organizar e disseminar informações estratégicas sobre tecnologias emergentes. Dessa forma, o mapa apresentado neste trabalho posiciona-se como uma ferramenta de apoio à compreensão do ecossistema nacional de tecnologias quânticas e ao desenvolvimento de políticas e estratégias voltadas à inovação nesse setor.

3. Metodologia

3.1. Etapas de Desenvolvimento do Mapeamento

O desenvolvimento do Mapa de Tecnologias Quânticas foi realizado em diferentes etapas, buscando combinar conhecimento especializado da comunidade científica com levantamento sistemático de informações disponíveis em bases públicas.

Na primeira etapa, foi realizado um levantamento inicial com base no conhecimento acumulado pela equipe da RNP e na consulta a pesquisadores envolvidos na área de tecnologias quânticas no Brasil. Foram utilizadas também informações provenientes de bases institucionais e programas de financiamento relevantes, incluindo iniciativas da FAPESP⁵, CNPq⁶, e do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Informação Quântica⁷. Essa fase inicial teve caráter exploratório e contou com a participação de uma comunidade restrita de pesquisadores, permitindo a validação inicial da proposta e a construção da base preliminar de dados.

Na segunda etapa, foi realizado um levantamento mais amplo de grupos de pesquisa registrados no Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq⁸, bem como de centros de competência, institutos de pesquisa e iniciativas apoiadas por programas como EM-BRAPII⁹ e FINEP¹⁰. Na terceira etapa, a plataforma foi disponibilizada publicamente e divulgada por meio dos canais de comunicação da RNP, incluindo o portal RNP News, permitindo que pesquisadores e instituições pudessem contribuir com novas informações e atualizações.

³<https://observatorioblockchain.org.br/mapa/>

⁴<https://cybersecmap.rnp.br/>

⁵<https://bv.fapesp.br/pt>

⁶<http://memoria2.cnpq.br/projetos-pesquisa>

⁷<https://inctiq.if.ufrj.br/>

⁸<https://lattes.cnpq.br/web/dgp>

⁹<https://quiin.senaicimatec.com.br/>

¹⁰<https://fade.org.br/conheca-o-instituto-quanta-vencedor-do-premio-finep-de-inovacao-2025/>

Tabela 1. Comparação entre a proposta e trabalhos relacionados.

Trabalho	Foco Principal	Tipo de Dados	Integração de Atores
Knight et al. (2019), Zhang et al. (2019), Riedel et al. (2019), Raymer et al. (2019), Yamamoto et al. (2019)	Programas nacionais e estratégias	Políticas públicas e iniciativas institucionais	Parcial
Quanteria (2023), Quantum Insider (2025), McKinsey (2025)	Mercado e indústria	Empresas, cadeias produtivas e investimentos	Foco industrial
Oliveira et al. (2022)	Acadêmico	Pesquisadores, grupos e publicações	Acadêmico
Abelem (2026), Chaves (2025), Araújo et al. (2024), Casado (2025)	Geopolítico	Análises conceituais e políticas	Não aplicável
Rocha (2025), Borges (2026), Frare (2024), Miano (2024)	Tema Específico	Dados focados (segurança, educação, mercado)	Limitado
Este trabalho	Ecosistema tecnológico integrado	Pesquisadores, grupos, projetos, empresas, startups e iniciativas	Acadêmico + Industrial + Institucional

Atualmente, o projeto encontra-se em uma fase de expansão e consolidação da base de dados, com abertura progressiva da plataforma para a comunidade científica e tecnológica. A quarta etapa prevê a manutenção contínua da plataforma e sua evolução com base nos feedbacks da comunidade, permitindo ampliar progressivamente o escopo das informações coletadas e melhorar as funcionalidades do sistema. Essas etapas também definem um roadmap de evolução da plataforma, que inclui a ampliação das fontes de dados, integração com novas bases de informação e expansão da cobertura do ecossistema.

3.2. Aquisição de Dados

A coleta de dados utilizada na construção do Mapa de Tecnologias Quânticas combinou diferentes estratégias de aquisição de informação, com o objetivo de reunir um conjunto abrangente de dados sobre pesquisadores, grupos de pesquisa, projetos e iniciativas relacionadas às tecnologias quânticas no Brasil.

Inicialmente, foi realizada a identificação de pesquisadores relevantes na área, utilizando bases institucionais, redes de colaboração e o conhecimento acumulado pela RNP em iniciativas relacionadas a tecnologias emergentes. Esse processo permitiu construir

uma lista inicial de especialistas atuantes nas áreas de computação quântica, comunicação quântica, sensoriamento quântico e criptografia pós-quântica.

Em seguida, foram identificados grupos de pesquisa por meio do Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq, aplicando filtros baseados em palavras-chave relacionadas às tecnologias quânticas. Esse procedimento permitiu localizar grupos ativos em diferentes instituições brasileiras e identificar suas linhas de pesquisa associadas. Também foi realizada busca ativa por artigos científicos publicados em português, incluindo publicações em eventos e periódicos da Sociedade Brasileira de Computação (SBC)¹¹, com previsão de expansão futura para bases da Sociedade Brasileira de Física e outros repositórios científicos relevantes. Essa etapa possibilitou identificar tendências temáticas, pesquisadores ativos e instituições com produção científica significativa na área.

Além disso, foram conduzidas buscas complementares por projetos, iniciativas institucionais e centros de pesquisa utilizando diferentes bases de dados acadêmicas e institucionais, incluindo plataformas de fomento e programas nacionais de pesquisa. Por fim, para facilitar a colaboração da comunidade, foi disponibilizado um canal de comunicação específico por e-mail (mapatecnologiasquanticas@rnp.br), permitindo que pesquisadores, instituições e empresas possam enviar informações para inclusão ou atualização no mapa. Essa estratégia permite ampliar continuamente a base de dados e manter o mapa atualizado com contribuições da própria comunidade científica e tecnológica.

3.3. Curadoria e Filtragem de Dados

A etapa de curadoria dos dados apresentou desafios significativos devido à necessidade de integrar informações provenientes de múltiplas fontes, cada uma com formatos, estruturas e níveis de detalhamento distintos. Para lidar com essa heterogeneidade, foram desenvolvidos scripts em *Python* responsáveis por converter diferentes bases e layouts para um formato unificado, além de automatizar procedimentos de limpeza e padronização de dados. Esse processo incluiu a normalização de nomes institucionais, padronização de áreas temáticas e identificação de registros duplicados.

Após essa etapa inicial de tratamento automatizado, foi realizada uma avaliação qualitativa dos registros coletados. Essa análise humana teve como objetivo verificar a pertinência temática das informações, garantindo que os dados incluídos estivessem efetivamente relacionados ao desenvolvimento de tecnologias quânticas. A filtragem foi realizada utilizando conjuntos de palavras-chave relacionadas às principais áreas das tecnologias quânticas, incluindo termos associados à computação quântica (“*computação quântica*”, “*algoritmos quânticos*”, “*circuitos quânticos variacionais*”, “*aprendizado de máquina quântico*”), comunicação quântica (“*comunicação quântica*”, “*redes quânticas*”, “*internet quântica*”, “*distribuição de entrelaçamento*”, “*QKD*”), criptografia pós-quântica (“*criptografia pós-quântica*”, “*criptografia resistente a ataques quânticos*”, “*criptografia baseada em reticulados*”) e sensoriamento quântico (“*sensoriamento quântico*”, “*metrologia quântica*”, “*sensores ópticos*”, “*medição quântica*”). Esses termos foram aplicados tanto na etapa de coleta, quando os repositórios permitiam filtragem por palavras-chave, quanto na etapa de pós-processamento das bases. Termos equivalentes em inglês também foram utilizados com o objetivo de ampliar a cobertura

¹¹<https://sol.sbc.org.br/index.php/indice>

das buscas. Esse processo híbrido, combinando automação e validação manual, permitiu garantir maior consistência e qualidade ao conjunto de dados utilizado na plataforma.

3.4. Mapa Interativo e Visualização

A etapa final da metodologia concentrou-se na definição das estratégias de integração e visualização das informações coletadas. Para isso, foi adotada a construção de um mapa interativo capaz de representar geograficamente os diferentes elementos do ecossistema de tecnologias quânticas no Brasil.

A plataforma foi desenvolvida utilizando a infraestrutura do sistema Camalio [de Rosso et al. 2024], que permite a construção de aplicações web voltadas à visualização e organização de dados georreferenciados. No contexto desta aplicação, foi utilizado o componente *ChameleonMap*, responsável pela renderização do mapa interativo e pela organização das diferentes camadas de informação.

O sistema permite a integração de múltiplos conjuntos de dados em uma única interface navegável, possibilitando a visualização de diferentes categorias de informação, como grupos de pesquisa, pesquisadores, empresas e iniciativas tecnológicas. A arquitetura foi projetada para permitir atualização contínua das bases de dados, reduzindo a necessidade de manutenção manual intensiva.

Além disso, a plataforma permite a aplicação de filtros e camadas temáticas, facilitando a exploração dos dados por área tecnológica, tipo de instituição ou localização geográfica. Essa abordagem torna possível obter uma visão integrada do ecossistema nacional de tecnologias quânticas, apoiando análises exploratórias, identificação de clusters de pesquisa e compreensão da distribuição geográfica das iniciativas no país.

4. Resultados

Como resultado deste trabalho foi desenvolvida uma plataforma interativa para visualização e organização do ecossistema brasileiro de tecnologias quânticas. A plataforma permite explorar diferentes tipos de iniciativas relacionadas à área, incluindo grupos de pesquisa, pesquisadores, projetos, empresas, infraestruturas e outras iniciativas relevantes. O objetivo da ferramenta é oferecer uma visão integrada do ecossistema nacional, facilitando a identificação de atores, regiões de concentração de atividades e áreas tecnológicas emergentes.

A interface da plataforma foi projetada de forma a permitir uma navegação simples e intuitiva. O sistema utiliza um mapa interativo para representar geograficamente as iniciativas identificadas, permitindo visualizar a distribuição espacial do ecossistema de tecnologias quânticas no Brasil. Cada marcador no mapa representa uma entidade catalogada na plataforma, podendo corresponder a instituições de pesquisa, empresas, projetos ou pesquisadores. Além disso, quando há múltiplas iniciativas em uma mesma região, os marcadores são agrupados, exibindo a quantidade de registros associados àquela localidade.

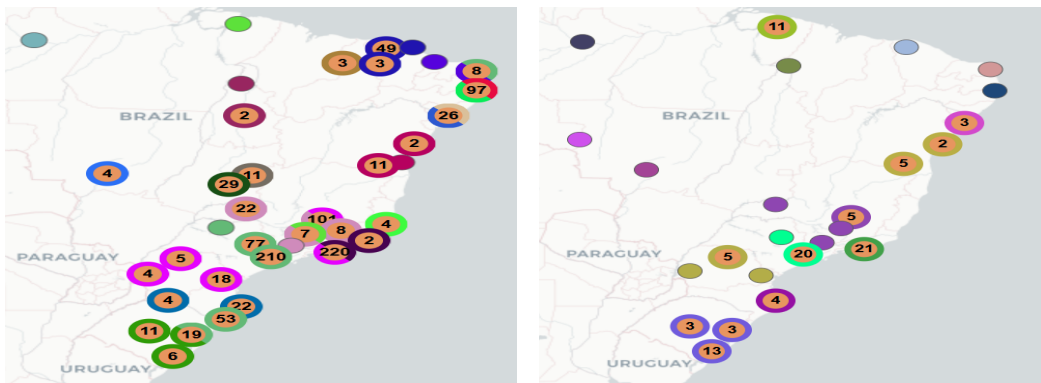
A Figura 1 apresenta a interface principal da plataforma desenvolvida. O sistema permite alternar entre diferentes perspectivas de visualização do ecossistema. Na aba *Ecossistema Quântico*, é possível visualizar elementos relacionados ao desenvolvimento tecnológico e industrial, como empresas, computadores quânticos e redes quânticas. Já

na aba *Academia & Pesquisa*, são apresentadas informações relacionadas à produção científica e acadêmica, incluindo grupos de pesquisa, pesquisadores, projetos, teses, dissertações e artigos científicos.

Além disso, a plataforma permite filtrar os dados de acordo com diferentes áreas das tecnologias quânticas, como computação quântica, comunicação quântica, sensoriamento quântico e criptografia pós-quântica. Esses filtros permitem ao usuário explorar de forma mais detalhada as iniciativas associadas a cada domínio tecnológico, facilitando a análise do desenvolvimento do ecossistema nacional nessas diferentes áreas.



(a) Filtros e categorias da seção *Academia & Pesquisa* (b) Filtros e categorias da seção *Ecosistema Quântico*



(c) Visualização geográfica das Teses e Dissertações. (d) Visualização geográfica dos artigos publicados pela SBC.

Figura 1. Interface gráfica da plataforma do Mapa de Tecnologias Quânticas, apresentando (i) os filtros e categorias disponíveis nas seções de *Academia & Pesquisa* e *Ecosistema Quântico*, e (ii) visualizações geográficas e analíticas dos dados coletados, incluindo instituições, teses, dissertações e publicações científicas na SBC.

A visualização geográfica das iniciativas permite identificar padrões de concentração regional das atividades relacionadas às tecnologias quânticas. Observa-se uma forte concentração de iniciativas em regiões que tradicionalmente possuem maior densidade de instituições de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, como os estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Rio Grande do Sul. Ao mesmo tempo, também é possível identificar iniciativas em outras regiões do país, evidenciando a expansão gra-

dual do ecossistema para diferentes centros acadêmicos e tecnológicos.

A plataforma também foi projetada para permitir atualização contínua das informações, possibilitando que novos registros sejam adicionados ao longo do tempo. Dessa forma, o sistema pode funcionar como um observatório tecnológico, permitindo acompanhar a evolução do ecossistema nacional de tecnologias quânticas e apoiar análises estratégicas sobre o desenvolvimento dessa área no Brasil.

Até o momento da publicação, o mapeamento do ecossistema brasileiro de tecnologias quânticas evidencia um cenário em consolidação, com a identificação de 17 empresas — das quais 12 são startups — além de 4 iniciativas relacionadas a computadores quânticos e 8 iniciativas de redes quânticas experimentais. No âmbito acadêmico, observa-se uma base científica robusta, composta por 34 grupos de pesquisa e 139 pesquisadores diretamente envolvidos na área, sustentando 73 projetos de pesquisa ativos. A produção científica também se destaca, com 109 artigos publicados em eventos da SBC e um total de 828 trabalhos acadêmicos, sendo 641 dissertações de mestrado e 187 teses de doutorado, reforçando o papel central da academia no desenvolvimento das tecnologias quânticas no país

5. Discussão

A análise das informações consolidadas no Mapa de Tecnologias Quânticas permite identificar diversos aspectos relevantes sobre o estágio atual de desenvolvimento do ecossistema brasileiro nessa área. A visualização integrada dos dados possibilita observar padrões de distribuição geográfica, áreas tecnológicas mais ativas e o perfil institucional dos atores envolvidos no desenvolvimento dessas tecnologias no país.

Entre os aspectos positivos, destaca-se a existência de uma base acadêmica sólida, com um número crescente de grupos de pesquisa, projetos científicos e pesquisadores atuando em diferentes áreas das tecnologias quânticas. Esse cenário reflete a tradição científica brasileira em áreas relacionadas à física quântica e à ciência da informação, que ao longo das últimas décadas formou uma comunidade científica qualificada e com produção relevante. Além disso, observa-se o surgimento recente de empresas e startups voltadas ao desenvolvimento de tecnologias quânticas, indicando um movimento inicial de transição entre pesquisa científica e inovação tecnológica.

Apesar desses avanços, a análise do ecossistema também revela desafios estruturais importantes. Um dos aspectos mais evidentes é a ausência de programas nacionais estruturados voltados especificamente para o desenvolvimento de tecnologias quânticas. Em diversos países, o avanço desse setor tem sido impulsionado por estratégias nacionais de longo prazo, frequentemente associadas a programas de financiamento dedicados e à criação de centros de excelência. Exemplos incluem iniciativas como o *National Quantum Initiative* nos Estados Unidos, o *Quantum Flagship* na União Europeia e o *National Quantum Strategy* no Canadá [Raymer and Monroe 2019, Riedel et al. 2019]. No Brasil, embora existam iniciativas relevantes de financiamento e pesquisa, ainda não se observa um programa nacional integrado com objetivos claros de desenvolvimento tecnológico nessa área.

No caso específico da computação quântica, o mapa revela a existência de algumas iniciativas relacionadas à aquisição de equipamentos, acesso a plataformas experimentais

e participação em programas internacionais. Entretanto, essas iniciativas ainda ocorrem de forma relativamente isolada entre instituições, sem uma estratégia nacional coordenada para o desenvolvimento de infraestrutura, formação de recursos humanos e criação de um ecossistema tecnológico robusto nessa área.

Outro aspecto relevante identificado no mapeamento refere-se ao baixo envolvimento do setor privado no desenvolvimento das tecnologias quânticas no Brasil. Em países como Estados Unidos, Canadá e diversas nações europeias, empresas privadas desempenham papel central na evolução dessas tecnologias, frequentemente atuando em parceria com universidades e centros de pesquisa. Nesse contexto, grandes empresas de tecnologia, bem como um número crescente de startups, têm liderado esforços em áreas como computação quântica, comunicação quântica e desenvolvimento de hardware especializado [Quantera 2023, The Quantum Insider 2025, McKinsey & Company 2025]. No contexto brasileiro, entretanto, a maior parte das iniciativas identificadas ainda está concentrada em instituições acadêmicas e centros de pesquisa financiados predominantemente por recursos públicos, com participação ainda limitada de empresas privadas e startups tecnológicas.

Na área de comunicação quântica, observa-se uma concentração significativa de iniciativas relacionadas à Distribuição Quântica de Chaves (QKD). Essa tecnologia tem sido amplamente estudada e desenvolvida em diversos países como uma aplicação prática das comunicações quânticas voltada à segurança da informação. No entanto, o papel do QKD no futuro das infraestruturas criptográficas ainda é objeto de debate, especialmente diante do avanço de técnicas de criptografia pós-quântica (PQC), que vêm sendo padronizadas internacionalmente como soluções compatíveis com as infraestruturas clássicas de comunicação [Putranto et al. 2024].

Além disso, observa-se que iniciativas voltadas ao desenvolvimento de redes quânticas baseadas em distribuição de entrelaçamento, consideradas um dos pilares para a futura Internet Quântica, ainda são relativamente limitadas no Brasil. Em outros países, essa linha de pesquisa tem recebido crescente atenção, envolvendo o desenvolvimento de repetidores quânticos, protocolos de distribuição de entrelaçamento e arquiteturas de redes quânticas de longa distância [Raymer and Monroe 2019]. A expansão dessas iniciativas no contexto brasileiro pode representar uma oportunidade estratégica para ampliar a participação do país no desenvolvimento dessa nova geração de infraestruturas de comunicação.

No campo do sensoriamento quântico, o mapa indica a presença de uma base científica consistente, com diversos grupos de pesquisa atuando em áreas relacionadas à metrologia quântica, sensores ópticos e aplicações baseadas em efeitos quânticos. Essa área apresenta potencial significativo de aplicações em setores como energia, defesa, monitoramento ambiental e navegação. No entanto, assim como em outras áreas das tecnologias quânticas no Brasil, ainda existe espaço para fortalecer os mecanismos de transferência tecnológica e estimular a transformação dessas pesquisas em tecnologias aplicadas e produtos comerciais.

De forma geral, os resultados indicam que o Brasil possui uma base científica relevante e uma comunidade acadêmica ativa no campo das tecnologias quânticas. Entretanto, a consolidação de um ecossistema tecnológico mais robusto dependerá do fortale-

cimento de políticas públicas direcionadas, do aumento da participação do setor privado e da criação de mecanismos que estimulem a transição entre pesquisa científica e inovação tecnológica.

6. Conclusão e Trabalhos Futuros

Este trabalho apresentou o desenvolvimento do Mapa de Tecnologias Quânticas, uma plataforma interativa voltada ao mapeamento e organização do ecossistema brasileiro de tecnologias quânticas. A proposta busca integrar diferentes tipos de informações — incluindo pesquisadores, grupos de pesquisa, projetos, empresas e iniciativas tecnológicas — em uma única interface de visualização georreferenciada, permitindo uma visão mais ampla e estruturada do desenvolvimento dessas tecnologias no país.

Como continuidade deste trabalho, pretende-se ampliar o escopo do mapa por meio da incorporação de novas fontes de informação e da expansão das iniciativas mapeadas em tecnologias quânticas no Brasil. Entre as evoluções previstas estão a ampliação da base de dados de projetos, a inclusão de mecanismos para identificação de produtos, soluções tecnológicas e iniciativas de transferência de tecnologia, além da documentação de casos de sucesso envolvendo startups e parcerias universidade-indústria. Também se pretende integrar a plataforma a bases de dados nacionais e internacionais, aumentando sua interoperabilidade e permitindo análises comparativas entre ecossistemas tecnológicos, contribuindo para uma melhor compreensão do posicionamento do Brasil no cenário global das tecnologias quânticas.

Referências

- Abelém, A. (2026). A revolução das tecnologias quânticas: Caminhos para o desenvolvimento nacional. *Computação Brasil*, (55):23–27.
- Araújo-Moreira, F. M., Carneiro, V. G. A., and Galdino, J. F. (2024). Tecnologias quânticas: uma questão de soberania nacional. *Revista da Escola de Guerra Naval*, 30(3).
- Borges, D. B. and Bastos, S. A. P. (2026). Quem são? o que fazem? por onde andam? uma análise dos perfis acadêmico e profissional dos doutores que se especializaram no campo das tecnologias quânticas. *Periódicos Brasil. Pesquisa Científica*, 5(1):1374–1388.
- Casado, A. G. P. and Pamplona, S. M. (2025). Tecnologias quânticas na defesa nacional: Uma análise das portarias do ministério da defesa (2024-2025). In *Anais do CDU-Congresso de Direito UniCesumar*, pages 1901–1908.
- Chaves, R. (2025). Uma ciência quântica brasileira de impacto global é, sim, possível. *Ciência e Cultura*, 77(1):85–90.
- de Rosso, A. O., Peretto, E. R., dos Santos, L. L. B., Soares Filho, M. N. R., Vassoler, G., de Araújo, G. H., Granville, L. Z., and Gaspary, L. P. (2024). Chameleonmap: Um sistema para visualização interativa de testbeds. In *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC)*, pages 9–16. SBC.
- Degen, C. L., Reinhard, F., and Cappellaro, P. (2017). Quantum sensing. *Reviews of modern physics*, 89(3):035002.

- Dowling, J. P. and Milburn, G. J. (2003). Quantum technology: the second quantum revolution. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 361(1809):1655–1674.
- Frare, V. L. F., Araujo, I. S., and Veit, E. A. (2024). Uma revisão sistemática da literatura sobre o ensino de computação quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 46:e20240253.
- Gisin, N. and Thew, R. (2007). Quantum communication. *Nature photonics*, 1(3):165–171.
- Kaur, M. and Venegas-Gomez, A. (2022). Defining the quantum workforce landscape: a review of global quantum education initiatives. *Optical Engineering*, 61(8):081806–081806.
- Knight, P. and Walmsley, I. (2019). Uk national quantum technology programme. *Quantum Science and Technology*, 4(4):040502.
- McKinsey & Company (2025). The year of quantum: From concept to reality in 2025. Accessed: 2026-03-15.
- Miano, M., Rusinelli, B. B., and de Souza, M. M. (2024). A computação quântica e o desafio da capacitação tecnológica. *Revista Tecnológica da Fatec de Americana*, 12(01):50–69.
- Oliveira, R., Sanz, L., and Chaves, R. (2022). Uma visão da ciência das redes sobre o instituto nacional de ciência e tecnologia em informação quântica (inct-iq). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 44:e20220189.
- Putranto, D. S. C., Wardhani, R. W., Ji, J., and Kim, H. (2024). A deep inside quantum technology industry trends and future implications. *IEEE access*, 12:115776–115801.
- Quanterra (2023). Quantum technologies public policies report. Accessed: 2026-03-15.
- Raymer, M. G. and Monroe, C. (2019). The us national quantum initiative. *Quantum Science and Technology*, 4(2):020504.
- Riedel, M., Kovacs, M., Zoller, P., Mlynek, J., and Calarco, T. (2019). Europe’s quantum flagship initiative. *Quantum Science and Technology*, 4(2):020501.
- Rocha, M. O. (2025). Avanços da computação quântica e os planos de adoção de algoritmos pós-quânticos na icp-brasil. *Escola Superior de Guerra*.
- Steane, A. (1998). Quantum computing. *Reports on Progress in Physics*, 61(2):117–173.
- The Quantum Insider (2025). The quantum supply chain: Market map & key players for 2026. Accessed: 2026-03-15.
- Zhang, Q., Xu, F., Li, L., Liu, N.-L., and Pan, J.-W. (2019). Quantum information research in china. *Quantum Science and Technology*, 4(4):040503.