

A evolução da logística: integração tecnológica e humanização em complexos industriais



<https://doi.org/10.47236/2594-7036.2026.v10.2154>

Marcella Grangeiro Lima¹

Geysa Karla Alves Galvão²

Deyvison Kallyson da Silva Chaves³

Charlis Alberto Cabral de Moraes Júnior⁴

José Luiz Alves⁵

Data de submissão concluída: 22/4/2026. Data de aprovação: 3/8/2026. Data de publicação: 4/9/2026.

Resumo – Este estudo analisa a integração entre automação avançada e valorização do capital humano no contexto da Logística 5.0, com foco na produtividade, no bem-estar dos trabalhadores e na sustentabilidade em complexos industriais e portuários. Trata-se de uma pesquisa qualitativa, exploratória e descritiva, baseada em revisão bibliográfica e documental, complementada por uma análise técnico-propositiva aplicada ao contexto do Complexo Portuário Industrial de Pernambuco. O percurso metodológico consistiu na análise de literatura científica, documentos técnicos e estudos recentes sobre Logística 4.0, Logística 5.0, Sociedade 5.0, tecnologias emergentes e computação quântica aplicada à otimização logística. A análise da literatura e a aplicação conceitual ao contexto portuário sugerem que tecnologias como Internet das Coisas, Inteligência Artificial, robótica colaborativa, gêmeos digitais e computação quântica podem contribuir para a redução de gargalos operacionais, o aumento da eficiência, a melhoria da previsibilidade da cadeia de suprimentos e a diminuição de atividades repetitivas ou de maior risco aos trabalhadores. Observa-se, contudo, que a adoção dessas tecnologias exige capacitação profissional, mudança cultural, investimentos em infraestrutura e governança ética. Conclui-se que a Logística 5.0 não se limita à automação de processos, mas propõe um modelo de inovação orientado à integração entre eficiência tecnológica, sustentabilidade e centralidade humana.

¹ Mestranda do Programa de Gestão do Desenvolvimento Local e Sustentável da Faculdade de Administração e Direito da Universidade de Pernambuco. Bolsistas para apoio técnico às atividades da Agência de Inovação da Universidade de Pernambuco. Recife, Pernambuco, Brasil. 

marcella.grangeiro@upe.br  <https://orcid.org/0009-0002-2897-1805> 
<http://lattes.cnpq.br/5357713648040979>.

² Mestranda do Programa de Gestão do Desenvolvimento Local e Sustentável da Faculdade de Administração e Direito da Universidade de Pernambuco. Bolsista pesquisadora do Laboratório de Ecologia, Educação Ambiental e Comunicação da Ciência da Universidade de Pernambuco. Recife, Pernambuco, Brasil.  fgeysa.kagalvao@upe.br  <https://orcid.org/0000-0003-1100-3293> 
<http://lattes.cnpq.br/1820361461199799>.

³ Mestrando do Programa de Gestão do Desenvolvimento Local e Sustentável da Faculdade de Administração e Direito da Universidade de Pernambuco. Assistente Administrativo. Recife, Pernambuco, Brasil.  deyvison.kallysonsc@upe.br  <https://orcid.org/0009-0008-0300-0512> 
<http://lattes.cnpq.br/3707699500613840>.

⁴ Mestrando do Programa de Gestão do Desenvolvimento Local e Sustentável da Faculdade de Administração e Direito da Universidade de Pernambuco. Servidor da Secretaria de Educação de Pernambuco. Recife, Pernambuco, Brasil.  charlis.acmjuniior@upe.br  <https://orcid.org/0009-0007-4061-1841>  <http://lattes.cnpq.br/2039121095725510>.

⁵ Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco. Professor Adjunto e permanente do Programa Gestão do Desenvolvimento Local da Faculdade de Administração e Direito da Universidade de Pernambuco. Recife, Pernambuco, Brasil.  luiz.alves@upe.br  <https://orcid.org/0000-0003-2049-2084>  <http://lattes.cnpq.br/7078869287819893>.

Palavras-chave: Capital humano. Complexos portuários. Computação quântica. Logística 5.0. Sustentabilidade.

The evolution of logistics: technological integration and humanization in industrial complexes

Abstract – This study analyzes the integration of advanced automation and the valorization of human capital within the context of Logistics 5.0, with a focus on productivity, workers' well-being, and sustainability in industrial and port complexes. The research adopts a qualitative, exploratory, and descriptive approach, based on a bibliographic and documentary review, complemented by a technical and propositional analysis applied to the context of the Industrial Port Complex of Pernambuco. The methodological procedures involved the analysis of scientific literature, technical documents, and recent studies addressing Logistics 4.0, Logistics 5.0, Society 5.0, emerging technologies, and quantum computing applied to logistics optimization. The literature review and the conceptual application to the port context suggest that technologies such as the Internet of Things, Artificial Intelligence, collaborative robotics, digital twins, and quantum computing may contribute to reducing operational bottlenecks, increasing efficiency, improving supply chain predictability, and decreasing workers' exposure to repetitive or higher-risk activities. However, the adoption of these technologies requires professional training, organizational cultural change, investment in infrastructure, and ethical governance. It is concluded that Logistics 5.0 extends beyond process automation by proposing an innovation model oriented toward the integration of technological efficiency, sustainability, and human-centeredness.

Keywords: Human capital. Logistics 5.0. Port complexes. Quantum computing. Sustainability.

La evolución de la logística: integración tecnológica y humanización en complejos industriales

Resumen – Este estudio analiza la integración entre la automatización avanzada y la valorización del capital humano en el contexto de la Logística 5.0, con énfasis en la productividad, el bienestar de los trabajadores y la sostenibilidad en complejos industriales y portuarios. Se trata de una investigación cualitativa, exploratoria y descriptiva, basada en una revisión bibliográfica y documental, complementada por un análisis técnico-propositivo aplicado al contexto del Complejo Portuario Industrial de Pernambuco. El recorrido metodológico consistió en el análisis de literatura científica, documentos técnicos y estudios recientes sobre Logística 4.0, Logística 5.0, Sociedad 5.0, tecnologías emergentes y computación cuántica aplicada a la optimización logística. El análisis de la literatura y su aplicación conceptual al contexto portuario sugieren que tecnologías como el Internet de las Cosas, la inteligencia artificial, la robótica colaborativa, los gemelos digitales y la computación cuántica pueden contribuir a la reducción de cuellos de botella operativos, al aumento de la eficiencia, a la mejora de la previsibilidad de la cadena de suministro y a la disminución de actividades repetitivas o de mayor riesgo para los trabajadores. Sin embargo, la adopción de estas tecnologías requiere capacitación profesional, cambio cultural, inversiones en infraestructura y gobernanza ética. Se concluye que la Logística 5.0 no se limita a la automatización de procesos, sino que propone un modelo de innovación orientado a la integración entre eficiencia tecnológica, sostenibilidad y centralidad humana.

Palabras clave: Capital humano. Complejos portuarios. Computación cuántica. Logística 5.0. Sostenibilidad.

1 Introdução

A logística contemporânea atravessa um período de transformação sem precedentes, impulsionado pela convergência de tecnologias digitais e emergentes e por uma crescente preocupação com aspectos sociais, ambientais e humanos. Historicamente vista como uma função de suporte operacional, a atividade logística evoluiu para se tornar o núcleo estratégico das organizações modernas. O contexto atual é marcado pela transição da Logística 4.0, focada na automação e conectividade, para a Logística 5.0, que introduz a centralidade humana e a resiliência como pilares fundamentais.

A sustentabilidade, por sua vez, também pode ser trabalhada sob essa perspectiva humana, nesse sentido, perspectiva, Trstenjak *et al.* (2022) associam a sustentabilidade à consciência ambiental, à redução de acidentes de trabalho, à melhoria das condições de movimentação de cargas e à geração de impactos positivos nas comunidades do entorno das operações logísticas. Nessa mesma perspectiva, Monferdini, Tebaldi e Bottani (2025) afirmam que, no contexto da Logística 5.0, a sustentabilidade deve ser compreendida de forma mais abrangente, englobando não apenas os aspectos ambientais, mas também os aspectos sociais. Esse fator aliado ao elemento humano indica que a atividade logística pode gerar formas de compensação ou retorno positivo para a comunidade localizada no entorno de suas operações, como no que diz respeito ao fortalecimento da resiliência.

De acordo com a Keidanren (2018), a Sociedade 5.0 define-se como uma nova etapa da evolução social que busca equilibrar o crescimento econômico com a resolução de desafios sociais. Esse equilíbrio é viabilizado pela convergência e aproveitamento de tecnologias inovadoras, tais como a Internet das Coisas (IoT), Big Data, Inteligência Artificial (IA) e robótica. O conceito, também denominado “Sociedade 5.0 para os ODS”, foca no alcance de metas individuais e globais de sustentabilidade (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável) por meio do uso intensivo de tecnologias de ponta. No contexto logístico, essa visão implica na transformação da indústria em uma infraestrutura social valiosa, orientada pela adoção proativa dessas inovações para aumentar a sofisticação e a eficiência de toda a cadeia de suprimentos. Entre as tecnologias emergentes, a computação quântica apresenta potencial para contribuir com a resolução de problemas complexos de otimização na logística e na gestão da cadeia de suprimentos. Alguns desses problemas incluem a resolução de problemas de otimização combinatória, predominantes na logística, roteamento de veículos, localização de instalações e problemas de projeto de rede, que envolvem encontrar as melhores rotas, locais e estruturas para minimizar custos e melhorar a eficiência, e problemas de escalonamento, como programação da produção, sequenciamento de tarefas e gestão da força de trabalho (Phillipson, 2024).

A justificativa deste estudo reside na necessidade de compreender como a integração tecnológica pode coexistir com os valores sociais e ambientais. Taniguchi (2025) argumenta que a logística deixou de ser apenas um meio de movimentação de cargas para se tornar uma vantagem competitiva essencial na era da informação. A transição para o modelo 5.0 exige que as empresas olhem para fora de seus muros e entendam seu papel no ecossistema global, priorizando a agilidade sem sacrificar a responsabilidade ética.

A questão que norteia este estudo é: como a Logística 5.0 pode integrar a automação avançada à valorização do capital humano para aumentar a produtividade sem comprometer o bem-estar dos colaboradores? Assim, o objetivo geral é analisar como a integração entre automação avançada e valorização do capital humano, no contexto da Logística 5.0, contribui para o aumento da produtividade de forma equilibrada com o bem-estar dos colaboradores. Como objetivos específicos, busca-se: identificar as principais tecnologias de automação, como IA, robótica colaborativa e IoT, que caracterizam a transição da Logística 4.0 para a Logística 5.0; contrastar as bases teóricas da automação da Indústria 4.0 com os princípios humanocêntricos da Logística 5.0; e discutir como o uso de algoritmos quânticos pode evoluir de uma ferramenta de eficiência operacional para um sistema de suporte à decisão que considere a segurança e a saúde dos trabalhadores em complexos industriais e portuários.

2 Algumas considerações conceituais

2.1 A gênese e a evolução histórica da logística

A compreensão da logística moderna exige um retorno às suas origens etimológicas e funcionais. Em seu sentido primordial, a logística era uma disciplina estritamente militar, voltada para a arte de transportar e abastecer tropas em campo de batalha. No cenário brasileiro, até o final da década de 1990, o termo era pouco difundido nos ambientes corporativos, sendo frequentemente associado apenas à distribuição física e ao transporte de produtos acabados.

Silva et al. (2024), em consonância com Campelo, Pessoa e Pires (2021), destacam que a gestão logística exerce papel relevante na continuidade e na competitividade das organizações em mercados cada vez mais exigentes.

Historicamente, e segundo os apontamentos de Cavalcante et al. (2019), a evolução no campo da logística pode ser compreendida a partir de quatro importantes fases: a) Primeira fase: período pós-guerra onde o transporte é focado em lotes econômicos, fluxo de informação deficiente (baixo e lento), tempo prolongado para atendimento dos pedidos e produtos padronizados; b) Segunda fase: introdução da tecnologia, maior oferta de produtos e opções, racionalização integrada da cadeia de suprimento; c) Terceira fase: integração dinâmica e flexível (agentes da cadeia de suprimentos), intercâmbio eletrônico de dados, efetivação dos códigos de barras, maior relevância à satisfação do cliente e intermediários; d) Quarta fase (contemporânea): logística estratégica, efetivo gerenciamento da cadeia de suprimentos, minimização dos custos e desperdícios, melhores resultados. Campelo, Pessoa e Pires (2021) corroboram essa perspectiva ao afirmarem que na atualidade, a logística é responsável pelo gerenciamento estratégico e eficaz dos recursos da empresa, todavia seu principal objetivo é aumentar a eficiência e rentabilidade das atividades exercidas, minimizando custos para a empresa. O primordial é garantir a continuidade de suas empresas dentro de um mercado cada vez mais competitivo e exigente. (Silva et al., 2024, p. 3).

Na perspectiva da Logística 5.0, o uso de tecnologias digitais deixa de estar associado apenas à automação de processos e passa a ser compreendido como instrumento de integração entre sistemas, pessoas, operações e agentes da cadeia de suprimentos. Nessa direção, a Aupatrans (2023) destaca que esse modelo busca favorecer a coordenação entre diferentes partes envolvidas no processo logístico, ampliando a colaboração, a eficiência operacional e a qualidade da tomada de decisão. Assim, a Logística 5.0 diferencia-se por articular ganhos tecnológicos com maior cooperação entre trabalhadores, máquinas e organizações.

A evolução acadêmica do tema no Brasil também acompanhou essa mudança de percepção. Durante muito tempo, os cursos de administração focaram na disciplina de Administração de Materiais, na qual a logística era apenas um tópico secundário relacionado ao transporte. Foi apenas com a abertura econômica e a necessidade de maior eficiência que as empresas brasileiras começaram a adotar uma visão sistêmica. Esse movimento permitiu a integração entre o suprimento de matérias primas e a entrega final, consolidando a gestão da cadeia de suprimentos como a conhecemos hoje.

2.2 O impacto da logística 4.0 e a digitalização

A quarta revolução industrial, ou Indústria 4.0, trouxe para a logística o conceito de hiperconectividade. Conforme destaca Cabral Filho (2023), a Logística 4.0 é fundamentada na digitalização plena dos processos, onde máquinas e sistemas se comunicam sem a necessidade de intervenção humana constante. Esse modelo busca a eficiência máxima através da redução de desperdícios e do aumento da velocidade de resposta ao mercado.

A maturidade operacional nesse contexto é medida pela capacidade da empresa em utilizar sistemas ciberfísicos para monitorar o fluxo de mercadorias. Souza (2023) afirma que a internet das coisas e o Big Data permitem que a logística se torne proativa em vez de reativa. A coleta massiva de dados transforma a incerteza em previsibilidade, garantindo que as organizações brasileiras possam competir em pé de igualdade com gigantes globais. O foco técnico da Logística 4.0 pavimentou o caminho para que as infraestruturas digitais estivessem prontas para a próxima grande mudança de paradigma.

2.3 A emergência da logística 5.0 e a sociedade 5.0

O advento da Logística 5.0 representa uma evolução necessária diante do foco excessivamente técnico da quarta revolução industrial. Enquanto o modelo anterior buscava a otimização por meio da automação, a quinta geração da logística prioriza o capital humano e o impacto social como guias do progresso. Esse movimento reflete os ideais da Sociedade 5.0, conceito japonês que busca utilizar a inteligência tecnológica para solucionar demandas sociais complexas e garantir um crescimento econômico sustentável. Conforme aponta Folgueral (2020), o objetivo central é criar um futuro onde a tecnologia não seja vista como uma ameaça ao emprego, mas como uma ferramenta de libertação humana. Na logística, isso se traduz em operações que respeitam o tempo do trabalhador e as necessidades da comunidade, transformando a entrega de um produto em um ato de valor social.

Para materializar essa visão, a Logística 5.0 emprega um conjunto de tecnologias integradas que vão desde a infraestrutura de rede até a inteligência de dados e a manufatura. A Biotecnologia, por exemplo, surge como um vetor de inovações não apenas voltadas à automação, mas à criação de sistemas colaborativos que beneficiam o meio ambiente e o bem-estar humano. A base dessa conectividade reside na *Internet of Things* (IoT), que constitui uma das principais infraestruturas de integração de dados nos portos inteligentes, convertendo a infraestrutura física em uma rede integrada de dados operacionais. No ambiente portuário, a presença de sensores em contêineres e maquinários pesados possibilita o rastreamento em tempo real e a visibilidade imediata da cadeia de suprimentos, reduzindo consideravelmente os gargalos logísticos tradicionais. Nesse ecossistema de dados, a Inteligência Artificial (IA) e o Machine Learning desempenham papéis fundamentais, permitindo que máquinas aprendam, tomem decisões autônomas e realizem análises preditivas por meio da identificação de padrões. Nesse contexto, a computação quântica apresenta potencial para complementar abordagens clássicas

em determinadas classes de problemas complexos de otimização, embora suas aplicações logísticas permaneçam, em grande medida, em estágio experimental.

No âmbito da produção física e dos materiais, a manufatura aditiva (impressão 3D) permite a fabricação personalizada e sob demanda a partir de modelos digitais, viabilizando produtos únicos em mínimas quantidades. Simultaneamente, a Nanotecnologia atua na modificação da estrutura molecular dos materiais para criar produtos mais inteligentes e duráveis, com aplicações que se estendem da biologia à física industrial. Por fim, a Robótica Avançada, especificamente por meio dos robôs colaborativos (Cobots), foca na construção de sistemas que realizam atividades humanas complexas em conjunto com o trabalhador. Ao assumirem tarefas perigosas ou repetitivas, essas máquinas permitem que os profissionais se empenhem no desenvolvimento de atividades criativas e que exijam habilidades estritamente humanas, consolidando o equilíbrio proposto pela Sociedade 5.0 (Folgueral, 2020; Rosales; Robles, 2023; Figueiras, 2022; Rocha; Kissimoto, 2022).

2.4 Tecnologias aplicadas e inovação sustentável

A implementação da Logística 5.0 exige o uso de tecnologias que promovam a sustentabilidade. Silva et al. (2024) descrevem que o processamento massivo de informações em tempo reduzido serve para simplificar a vida humana e otimizar o uso de recursos naturais. A automação total, quando guiada pelos princípios da quinta revolução, busca a fidelização do cliente através de práticas éticas e transparentes.

A computação quântica também tem atraído atenção em áreas como inteligência artificial e otimização (Melo, 2023). Problemas de roteamento, alocação de recursos e aprendizagem de máquina, que exigem grandes capacidades computacionais, podem ser beneficiados com abordagens quânticas que exploram a paralelização massiva de estados (Mahlow, 2025). Embora essas aplicações ainda estejam em estágios iniciais, pesquisas conduzidas por grandes centros de inovação têm indicado que a integração entre modelos clássicos e quânticos, os chamados sistemas híbridos, pode acelerar o desenvolvimento de soluções viáveis a curto e médio prazo (Ávila et al., 2024). A aplicação de armazéns inteligentes sob a ótica da Logística 5.0 exemplifica essa inovação sustentável. Ferrigo (2025) detalha que o uso de dispositivos de IoT para o monitoramento ambiental não serve apenas para proteger a integridade dos produtos. Esses sistemas permitem uma gestão energética muito mais eficiente e garantem que as operações logísticas não agredam as comunidades vizinhas. A tecnologia atua como um braço de suporte para a responsabilidade socioambiental, permitindo que a sustentabilidade seja medida e comprovada em tempo real.

2.5 Desafios para a consolidação no ambiente empresarial

Apesar dos benefícios evidentes, a transição para a Logística 5.0 enfrenta barreiras significativas. Nascimento Junior (2024) identificou em seus estudos que a consolidação dessas práticas exige altos investimentos em infraestrutura tecnológica e, principalmente, uma mudança profunda na cultura organizacional. Muitas empresas ainda operam sob mentalidades arcaicas que dificultam a aceitação de modelos colaborativos e centrados no humano.

No setor de distribuição de energia elétrica, por exemplo, os desafios são potencializados pela complexidade da rede e pela necessidade de continuidade do serviço. Nascimento Junior (2024) observa que o desenvolvimento de parcerias estratégicas é vital para dividir os riscos e os custos da inovação tecnológica. A falta de incentivos governamentais e a carência de mão de obra qualificada em tecnologias emergentes retardam o ritmo da transformação. A superação dessas barreiras exige uma visão de longo prazo que priorize a resiliência operacional sobre o lucro imediato.

2.6 A sinergia entre tecnologia e sensibilidade humana

O diferencial da Logística 5.0 é a valorização do fator humano como elemento insubstituível na gestão da cadeia de suprimentos. Taniguchi (2025) ressalta que a tecnologia deve servir para potencializar as capacidades humanas e não para substituí-las. Em tarefas complexas que exigem julgamento ético e empatia, o papel do gestor logístico torna-se ainda mais vital, pois a máquina carece da sensibilidade necessária para lidar com situações imprevistas que envolvam dilemas sociais.

A colaboração entre humanos e robôs deve ser planejada para que a inteligência artificial cuide da análise fria dos dados enquanto as pessoas tomam as decisões finais baseadas em valores corporativos. Silva *et al.* (2024) defendem que o aprendizado contínuo é o combustível para essa sinergia. À medida que as máquinas se tornam mais inteligentes, os profissionais de logística precisam evoluir para funções de supervisão estratégica e design de soluções personalizadas. Essa nova dinâmica de trabalho promove um ambiente mais criativo e menos mecanizado para os colaboradores.

3 Materiais e métodos

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza qualitativa, aplicada, exploratória e descritiva, fundamentando-se primordialmente em uma revisão bibliográfica de obras contemporâneas sobre a transição da logística 4.0 para a Logística 5.0 nos portos e os pilares da Sociedade 5.0. O percurso metodológico compreende uma análise técnico-propositiva aplicada ao contexto do Complexo Portuário Industrial de Pernambuco, no qual a investigação e a proposição de soluções para problemas operacionais reais são articuladas a partir da literatura e da análise conceitual das possibilidades de aplicação da computação quântica. O estudo foca na identificação de gargalos logísticos e na análise prospectiva dos potenciais ganhos de eficiência, visando a redução de desperdícios e a otimização de recursos sob uma perspectiva de sustentabilidade e agregação de valor ao cliente, sem a realização de intervenções diretas ou coletas presenciais com o corpo funcional no estágio atual.

Por basear-se significativamente na revisão teórica e na análise exploratória de dados secundários e informações disponíveis na literatura para a proposição de soluções, o estudo apresenta um caráter predominantemente técnico-especulativo, carecendo de validação empírica e testes práticos em campo para a confirmação integral dos resultados financeiros projetados. A complexidade inerente à Computação Quântica e a potencial resistência cultural à inovação tecnológica são consideradas variáveis limitantes que circunscrevem a aplicação imediata das soluções abordadas no referencial teórico ao contexto específico investigado.

A revisão bibliográfica foi utilizada como procedimento de sustentação teórica da pesquisa, permitindo reunir, examinar e organizar contribuições já publicadas sobre Logística 4.0, Logística 5.0, Sociedade 5.0, tecnologias emergentes e computação quântica aplicada à logística. Conforme Garcia (2016), a revisão bibliográfica cumpre papel fundamental na delimitação do estado da arte e na construção da base conceitual de uma investigação. Desse modo, o levantamento foi conduzido a partir da identificação das fontes, localização dos materiais, seleção dos estudos pertinentes, leitura analítica e sistematização das informações, em consonância com as orientações metodológicas de Lakatos e Marconi (2003) e Gil (2008).

A coleta de dados baseou-se na extração de informações de artigos científicos, teses, dissertações e publicações técnicas especializadas relacionadas ao contexto logístico e portuário analisado. A partir desse mapeamento na literatura, foram

coletados parâmetros conceituais, métricas de eficiência portuária padrão e variáveis de modelagem matemática. Esses elementos teóricos serviram como insumos (*inputs*) e dados secundários de referência serviram como subsídios para estruturar a análise e a proposição conceitual de soluções baseadas em computação quântica.

Neste artigo, o caso é representado pelo Complexo Portuário Industrial de Pernambuco, tomado como referência para discutir possibilidades de aplicação de tecnologias emergentes e computação quântica em processos logísticos. A abordagem dialoga com Lunetta e Guerra (2023), ao reconhecer a análise técnico-propositiva como uma forma de análise sistemática de uma realidade delimitada, e com Gil (2017), ao compreender esse procedimento como pertinente quando se busca interpretar fenômenos situados em determinado contexto.

Alinhada ao caráter qualitativo e exploratório da pesquisa, a análise dos dados ocorreu sem a manipulação de variáveis em ambiente real, concentrando-se na interpretação sistemática do material bibliográfico e documental selecionado. Os dados que retratam a realidade descritiva do Complexo Portuário Industrial de Pernambuco foram mapeados e organizados de modo a identificar gargalos operacionais recorrentes reportados na literatura. A partir deste diagnóstico literário, a análise desenvolveu-se por meio da transposição desses problemas reais para o domínio da Computação Quântica. Discutiu-se, sob perspectiva técnico-propositiva, o potencial dessas tecnologias para contribuir com a mitigação dos gargalos identificados, fundamentando a proposição de soluções sob a ótica de agregação de valor e transição para a Logística 5.0.

4 Resultados da análise e discussão

Gomes e Melo (2022) caracterizam a logística como uma vertente eminentemente estratégica da ciência administrativa, responsável por articular os fluxos e insumos operacionais indispensáveis à eficiência do ciclo de produção, com o propósito de mitigar o desperdício estrutural e maximizar os retornos financeiros corporativos. Nessa ótica, a coordenação logística atua diretamente na geração e na agregação de valor percebido pelo consumidor final, convertendo-se em uma vantagem competitiva sustentável, seja pela excelência e confiabilidade nos níveis de serviço prestados, seja pela otimização e redução sistemática dos custos de operação. No cenário macroeconômico brasileiro, contudo, a dinâmica desse setor concentra-se predominantemente na atividade de transporte, configurando um arranjo complexo que tenciona a execução operacional por parte da iniciativa privada e o papel regulatório e de investimento em infraestrutura por parte do poder público.

Ao dizer que “a máquina não faz pausa”, podemos realizar algumas interpretações como o incessante trabalho em uma sociedade voltada à produção constante, objetivando o consumo e o lucro. Dessa forma, o ritmo de produção da máquina é acelerado e constante. A centralidade humana proposta pela Logística 5.0 também pode ser interpretada como resposta aos limites de modelos produtivos orientados exclusivamente pela maximização do desempenho. À luz de Han (2017), a intensificação contínua das exigências de produtividade pode produzir efeitos adversos sobre o trabalhador. Nesse sentido, a automação deve ser orientada não apenas à eficiência operacional, mas também à redução da sobrecarga física e cognitiva.

A Inteligência Artificial (IA) diferencia a Logística 4.0 de 5.0 ao introduzir sistemas cognitivos capazes de aprender e colaborar ativamente com as equipes humanas, priorizando a eficiência e o bem-estar social. Conforme apontam Taniguchi et al. (2025), enquanto as fases anteriores se limitavam à automação básica de processos,

a Logística 5.0 utiliza a IA para potencializar análises preditivas sofisticadas e incentivar uma sinergia direta entre o capital humano e as máquinas. Nos terminais portuários, os algoritmos de IA gerenciam automaticamente a roteirização de frotas e a distribuição milimétrica nos pátios de carga, tornando o porto mais dinâmico, adaptável e sustentável.

A computação quântica utiliza princípios da física quântica para processar informações de modo distinto dos computadores clássicos, com potencial de aplicação em problemas complexos de otimização logística e gestão da cadeia de suprimentos (Phillipson, 2024). Os computadores quânticos utilizam qubits, cuja representação pode envolver superposição de estados. Essa característica, combinada a outros fenômenos quânticos, pode proporcionar vantagens computacionais em classes específicas de problemas, embora não implique superioridade generalizada em relação à computação clássica.

A cadeia de suprimentos e a logística são aspectos centrais da gestão operacional, pois envolvem o fluxo de bens, informações, estoques e movimentações necessárias para garantir eficiência, competitividade e sustentabilidade nas organizações.

A computação quântica vem ampliando seu espaço na agenda brasileira de ciência, tecnologia e inovação, embora suas aplicações diretas à logística portuária permaneçam em estágio inicial. Nesse contexto, iniciativas institucionais e acadêmicas têm investigado o potencial de algoritmos quânticos e híbridos para problemas complexos de otimização, incluindo aplicações relacionadas à logística e às cadeias de suprimentos. O foco é a utilização de algoritmos quânticos para otimizar, por exemplo, o empilhamento de contêineres e rotas de navios.

Iniciativas nacionais e parcerias internacionais indicam avanço da agenda brasileira em tecnologias quânticas, ainda em estágio de consolidação, com potencial de aplicação futura em problemas de otimização logística. A FAPESP, com o programa QUTIA, impulsiona a pesquisa, focando em jovens pesquisadores para desenvolver aplicações locais.

Tabela 1 – Iniciativas e tecnologias emergentes associadas à modernização portuária no Brasil

Porto/Entidade	Tecnologias Emergentes	Aplicação/ Teoria (2022-2026)	Resultados Esperados/ Observados
Geral / Nacional (MCTI)	Computação Quântica	Otimização logística, simulações, criptografia (E-Digital 2022-2026)	R\$ 5 bilhões de investimento até 2034; 1º computador quântico (2026)
Porto de Santos	IoT, IA, 5G, Blockchain	Monitoramento de cargas, automação, sustentabilidade e segurança	Aumento de capacidade e eficiência com investimento de R\$ 2,6 bi até 2026
Portos/Logística (Academia)	Algoritmos Quânticos/ML	Otimização de contêineres e previsão de demanda (Quantum ML)	Mitigação de desastres e otimização de rotas logísticas com dados complexos
Porto de Suape/Ponta da Madeira	Automação, IA	Gestão automatizada, eficiência de pátio (AGVs)	Redução de erros, aumento da produtividade de carga
CBPF/UFRJ/PUC-RIO (Rede)	Criptografia Quântica	Segurança cibernética em redes de comunicação portuária	Criação de rede física baseada em fenômenos quânticos

Fonte: elaboração própria a partir de Brasil (2026), FAPESP (2024), FAPESP e FAPERJ (2025), Ferreira (2023), Montenegro (2015).

A crescente complexidade e presença da IA no cotidiano evidenciam sua natureza profundamente interdisciplinar. A construção de sistemas inteligentes

envolve, necessariamente, contribuições da estatística, matemática, computação, filosofia, psicologia cognitiva e neurociência. Essa interdisciplinaridade é essencial para compreender não apenas o funcionamento técnico da IA, mas também seu impacto nas dimensões sociais, educacionais e culturais. Como defende Virginia Dignum (2022, p. 20), o desenvolvimento de tecnologias inteligentes deve ser orientado por princípios éticos e por uma governança participativa: “A forma como projetamos a IA, por quem e com quais intenções é tão importante quanto os resultados que ela entrega”. A tabela 1 – Tecnologias Emergentes nos Portos Brasileiros destaca a transformação digital e tecnológica em andamento nos principais complexos portuários do país, com foco no aumento de eficiência, sustentabilidade e segurança logística.

A pesquisa, abrangendo iniciativas do MCTI e operadores privados até 2026, aponta para a adoção de tecnologias avançadas como IoT, Inteligência Artificial (IA), 5G e soluções baseadas em Computação Quântica, com destaque para a modernização do Porto de Santos (com investimentos de R\$ 2,6 bilhões) e a automação do pátio em Suape/Ponta da Madeira, além do desenvolvimento de redes de criptografia quântica por instituições de pesquisa.

Tabela 2 – Aplicações potenciais da computação quântica e de tecnologias digitais na logística portuária brasileira

Tecnologia Emergente	Foco da Aplicação	Resultados/Estudos	Autores/ Artigos
Computação Quântica (Anelamento/ Gate-based)	Otimização de rotas de navios, agendamento de berços e redução de consumo de combustível.	Estudos recentes apontam o uso de algoritmos de otimização quântica em problemas complexos de logística.	Frank Phillipson(2024) Artigo intitulado Quantum Computing in Logistics and Supply Chain Management - an Overview
Computação Inspirada em Quântica (Digital Annealer)	Gestão de tráfego de caminhões e redução de congestionamento no porto.	Estudos internacionais recentes indicam redução de congestionamentos por meio de gêmeos digitais.	Tambunan <i>et al.</i> (2026) Artigo intitulado Quantum-Inspired Optimization for Traffic Congestion: A QUBO-Based Approach with Simulated Annealing.
Computação Quântica (IA + Logística)	Previsão de demanda e otimização da cadeia de suprimentos.	Aplicações experimentais indicam potencial de redução do tempo de entrega e dos custos operacionais.	Frank Philipson(2024) Quantum Computing in Logistics and Supply Chain Management - an Overview
Gêmeos Digitais + IoT	Monitoramento em tempo real e simulação de operações portuárias.	Integração de dados de sensores com simulação de fluxo operacional.	Klar <i>et al.</i> Digital Twins for Ports: Derived from Smart City and Supply Chain Twinning Experience
Quantum AI	Integração Humano-Máquina para tomada de decisão.	Estudos recentes indicam que a IA quântica pode apoiar a transição do cálculo manual para a gestão estratégica.	Andrei Khrennikov (2026) Quantum-Like cognition and IA toward the convergence of natural and artificial intelligence.

Fonte: elaboração própria, a partir da revisão bibliográfica realizada neste estudo (2026).

A tabela 2 apresenta um panorama das aplicações potenciais da computação quântica e de tecnologias digitais emergentes no contexto da logística portuária

brasileira, correlacionando o foco da aplicação com os resultados de estudos recentes e seus respectivos autores. O documento destaca como diferentes vertentes tecnológicas, que vão desde o anelamento quântico e computação baseada em portas lógicas até gêmeos digitais integrados à IoT e Inteligência Artificial Quântica (Quantum AI), podem mitigar gargalos históricos do setor. As soluções mapeadas direcionam-se à otimização de rotas de navios, agendamento de berços de atracação, gestão de tráfego de caminhões e previsão de demanda de suprimentos. Fundamentada em literatura científica atualizada entre 2024 e 2026, a tabela evidencia benefícios operacionais expressivos, tais como a redução do consumo de combustível, a diminuição de congestionamentos portuários e uma gestão mais estratégica, apoiada por sistemas automatizados de suporte à decisão.

No caso do Complexo Portuário Industrial de Pernambuco, uma aplicação possível da computação quântica ou de modelos híbridos clássico-quânticos seria a otimização do agendamento de berços e do posicionamento de contêineres no pátio. Esse tipo de problema poderia considerar variáveis como tempo estimado de chegada dos navios, prioridade da carga, disponibilidade de equipamentos, distância entre áreas de armazenamento, capacidade operacional dos pátios e restrições de segurança. Nesse contexto, algoritmos quânticos ou híbridos poderiam simular diferentes combinações de alocação, buscando reduzir o tempo de espera, os deslocamentos internos, o consumo energético e a exposição dos trabalhadores a tarefas repetitivas ou de maior risco. Assim, a aplicação tecnológica não estaria voltada apenas ao ganho de eficiência, mas também à melhoria das condições de trabalho, em consonância com os princípios da Logística 5.0.

Tabela 3 – Tecnologias Emergentes e Quântica nos Portos do Brasil

Tecnologia Emergente	Aplicação Portuária	Resultados/ Dados/ Estudos Científicos
Computação Quântica	Otimização Logística e Roteirização	Pesquisas para otimizar fluxos de contêineres e planejamento de atracação complexos. Previsão de inícios de aplicações práticas a partir de 2025/2026.
Computação Quântica	Segurança e Criptografia	Desenvolvimento de redes de comunicação quântica (conectar CBPF, UFRJ, PUC-Rio, UFF) para blindar dados portuários.
Computação Quântica	Hardware/ Infraestrutura	Montagem de laboratórios (RJ e São Carlos) para fabricação de chips supercondutores (Qubits) para logística.
IA / ML / Big Data	Movimentação de Cargas	Aumento da eficiência na movimentação (recorde de 1,28 bilhão de toneladas até Nov 2025) e agendamento de navios.
IoT e Sensores	Monitoramento em Tempo Real	Utilização de sensores inteligentes para monitorar tráfego, condições climáticas e contêineres.
Blockchain	Documentação (DUV)	Redução de custos e agilidade. Emissão de Documento Único Virtual (DUV) - mais de 107 mil emissões (2014-2015).
Sincromodalidade	Gestão da Cadeia de Suprimentos	Integração total de modais (ferro, rodo, hidro) para reduzir custos logísticos portuários.

Fonte: elaboração própria, a partir da revisão bibliográfica realizada neste estudo (2026).

A tabela 3 destaca o papel transformador de tecnologias emergentes e quânticas na logística portuária, com foco em otimização, segurança e eficiência. Ela detalha a profunda transformação digital e estrutural nos portos brasileiros por meio da convergência entre a computação quântica e outras tecnologias disruptivas. No

campo quântico, o país avança em três frentes estratégicas com previsões de aplicação prática a partir de 2025/2026: a otimização logística e de roteirização para fluxos complexos de contêineres, o reforço da segurança digital via criptografia quântica conectando grandes universidades fluminenses (CBPF, UFRJ, PUC-Rio e UFF), e a criação de infraestrutura laboratorial no Rio de Janeiro e em São Carlos para a fabricação própria de chips supercondutores (Qubits). Complementando esse ecossistema de inovação, a Inteligência Artificial e o Big Data impulsionam a eficiência operacional na movimentação de cargas e agendamento de navios, enquanto sensores IoT monitoram o tráfego e o clima em tempo real. Por fim, a tecnologia Blockchain moderniza a gestão documental através da emissão massiva do Documento Único Virtual (DUV), consolidando, junto à sincromodalidade, uma integração total entre os modais ferroviário, rodoviário e hidroviário para a drástica redução dos custos logísticos portuários.

O processo de transformação tecnológica dos complexos portuários brasileiros tende a combinar tecnologias já incorporadas às operações, como IA, IoT e automação, com soluções emergentes de computação quântica. No entanto, a aplicação prática dessas tecnologias ao setor logístico ainda depende do amadurecimento da infraestrutura, da disponibilidade de profissionais especializados e da validação de modelos capazes de responder a problemas concretos, como roteamento, alocação de contêineres e gestão de pátios.

A convergência entre IA e computação quântica configura uma nova fronteira tecnológica com possibilidades ainda pouco exploradas (Gabrich; Freitas; Souza, 2024). Além das barreiras técnicas e do potencial transformador da computação quântica, é fundamental considerar seu impacto geopolítico e estratégico.

Países como Estados Unidos, China, Canadá, Alemanha e Reino Unido já integram a corrida tecnológica pela supremacia quântica a seus programas nacionais de inovação e segurança (Oliveira; Azevedo; Araújo-Moreira, 2025). A China, por exemplo, investe pesadamente em infraestrutura quântica e lançou, em 2016, o primeiro satélite de comunicação quântica, o Micius, capaz de realizar transmissões criptografadas com base em emaranhamento quântico (Ávila et al., 2024; Oliveira; Azevedo; Araújo; Moreira, 2025). Isso demonstra que o controle sobre a computação quântica não será apenas uma vantagem científica, mas poderá determinar o equilíbrio de poder global nas próximas décadas (Pexe, 2025). Do ponto de vista ético e regulatório, a computação quântica também levanta questões relevantes que ainda estão em estágio embrionário. Se por um lado essa tecnologia promete avanços significativos em diversas áreas, por outro, pode gerar assimetrias severas entre países, empresas e instituições que tiverem acesso à computação quântica e aqueles que não tiverem (Leite, 2025; Monteiro et al., 2023). Isso pode ampliar desigualdades tecnológicas e dificultar o acesso equitativo aos benefícios dessa inovação. Além disso, a possível quebra de sistemas de criptografia atuais representa uma ameaça à privacidade e à segurança digital em escala global (Carvalho; Cruz; Santos, 2023). Portanto, políticas internacionais de cooperação e regulamentação serão necessárias para evitar o uso indevido dessa tecnologia e garantir padrões éticos mínimos em seu desenvolvimento e aplicação (Mahlow, 2025).

A integração da computação quântica com outras tecnologias emergentes, como blockchain, computação neuromórfica e redes 6G, forma um novo campo de pesquisa altamente interdisciplinar. A convergência tecnológica pode potencializar soluções que ainda são inviáveis hoje. Por exemplo, redes quânticas integradas a sistemas blockchain podem criar plataformas de contratos inteligentes com mecanismos potencialmente mais robustos de segurança (Leite, 2025). Já a combinação entre

hardware neuromórfico e processamento quântico pode levar ao surgimento de arquiteturas de inteligência artificial mais próximas da cognição humana (Melo, 2023; Mahlow, 2025). Essas possibilidades ampliam o alcance da computação quântica para além dos domínios tradicionais, promovendo uma transformação estrutural em diversas indústrias e serviços.

A questão da sustentabilidade também merece atenção no contexto quântico. Enquanto centros de dados tradicionais consomem grandes quantidades de energia elétrica para realizar tarefas complexas, a computação quântica, uma vez estabilizada, promete um salto em eficiência energética, pois pode resolver certos problemas com muito menos recursos físicos e computacionais (Araújo et al., 2025). No entanto, o estágio atual de desenvolvimento ainda é altamente dependente de sistemas criogênicos e equipamentos especializados, o que exige estratégias para tornar esses sistemas mais eficientes e ambientalmente viáveis no longo prazo (Ávila et al., 2024). A busca por qubits mais estáveis e operáveis em temperatura ambiente, como os de diamante (NV centers), pode representar um caminho promissor para essa evolução (Monteiro et al., 2023).

Dessa forma, a logística e o transporte também devem ser profundamente impactados por soluções quânticas, sobretudo em problemas de roteamento e otimização de recursos. O chamado “problema do caixeiro viajante”, que consiste em encontrar o caminho mais eficiente entre vários pontos com restrições diversas, é um dos grandes desafios da ciência da computação (Ávila et al., 2024). Em sua versão clássica, o tempo de resolução cresce exponencialmente com o número de variáveis. A computação quântica, por meio de algoritmos especializados, têm sido investigada como alternativas para problemas complexos de otimização combinatória, incluindo variantes de roteamento. Essas abordagens apresentam potencial de aplicação em setores como a entrega de mercadorias, gerenciamento de cadeias de suprimentos, sistemas de transporte urbano e mobilidade autônoma, com impactos diretos na eficiência, sustentabilidade e redução de custos operacionais (Carvalho; Cruz; Santos, 2023).

A consolidação da computação quântica como tecnologia de base depende também do amadurecimento das parcerias entre universidades e indústria. Enquanto a academia fornece os fundamentos científicos e experimentações de longo prazo, o setor privado oferece os recursos e a visão de mercado necessários para transformar descobertas em produtos e serviços (Oliveira; Azevedo; Araújo; Moreira, 2025).

Iniciativas como laboratórios corporativos dentro de universidades, programas de inovação aberta e intercâmbio de pesquisadores entre empresas e centros acadêmicos são mecanismos eficazes para acelerar o desenvolvimento de tecnologias quânticas aplicadas (Mahlow, 2025). O resultado é uma cadeia de inovação mais robusta e integrada, capaz de responder aos desafios técnicos com soluções que consideram tanto a viabilidade científica quanto a relevância mercadológica (Cambiucci; Silveira; Ruggiero, 2024).

A adoção de tecnologias digitais na Logística 5.0 não deve ser compreendida como simples substituição da força de trabalho humana, mas como possibilidade de reorganização das atividades produtivas. Sensores IoT, sistemas de Inteligência Artificial, plataformas em nuvem e ferramentas de monitoramento em tempo real podem ampliar a visibilidade da cadeia de suprimentos, reduzir custos operacionais e otimizar estoques. Do mesmo modo, robôs móveis, AGVs, AMRs, drones e tecnologias assistivas podem assumir tarefas repetitivas, perigosas ou de elevada carga física, permitindo que os trabalhadores sejam direcionados para funções de supervisão, análise, controle e tomada de decisão.

Nessa perspectiva, a humanização da logística depende da capacitação dos trabalhadores para o uso dos novos sistemas, da melhoria das condições ergonômicas e da atenção ao bem-estar físico e mental. Assim, a produtividade passa a ser compreendida não apenas como aumento de velocidade ou redução de custos, mas também como resultado de ambientes mais seguros, colaborativos e resilientes.

5 Considerações finais

A trajetória da logística, desde sua concepção militar até o paradigma 5.0, revela um amadurecimento constante das relações entre produção, tecnologia e sociedade. A Logística 4.0 trouxe as ferramentas digitais necessárias para a conectividade global, mas a Logística 5.0 é que confere propósito a essas ferramentas. O foco na sustentabilidade e no bem-estar humano deixa de ser um diferencial opcional para se tornar uma condição de existência para as organizações do futuro.

A consolidação definitiva desta quinta revolução dependerá da capacidade do mercado brasileiro em adaptar as inovações globais às suas realidades locais. Ferrigo (2025) conclui que a visão de infraestruturas logísticas como serviços de apoio à sociedade é o passo final para a humanização do setor. O futuro da logística não está apenas nos algoritmos de inteligência artificial, mas na forma como esses algoritmos são orientados para proteger o planeta e valorizar a vida humana em toda a extensão da cadeia de suprimentos.

As contribuições teóricas são focadas na Logística 5.0, discutindo como a tecnologia capacita o profissional em vez de substituí-lo, promovendo processos mais ergonômicos e colaborativos. Outras contribuições incluem a integração do porto à cadeia de suprimentos como um nó estratégico tecnológico e a demonstração da digitalização como fator de competitividade, além de abordar a gestão de pessoas em ambientes automatizados e a logística sustentável.

A disparidade temporal na adoção da Logística 5.0 entre o Japão, que instituiu esse conceito por volta de 2016, e o Brasil, que acelerou essa adequação apenas no contexto pós-pandemia (2020-2021), reflete um profundo abismo tecnológico e estrutural que posiciona o país em desvantagem competitiva no cenário globalizado (Silva; Oliveira; Gomes, 2022). Embora essa transição tardia evidencie uma rápida capacidade de resposta brasileira frente a crises, o fato de o Brasil implementar tais processos em relação ao pioneirismo japonês evidencia uma defasagem na maturidade tecnológica e na capacidade de incorporação dessas inovações que dificulta a plena integração nacional às dinâmicas de inovação da quinta revolução industrial.

As contribuições práticas discutidas neste estudo indicam que a tecnologia pode complementar as capacidades humanas ao ampliar a precisão, a velocidade e a visibilidade dos processos logísticos. A adoção de sensores IoT, sistemas de Inteligência Artificial e soluções em nuvem permite o monitoramento integrado da cadeia de suprimentos, contribuindo para a otimização dos estoques e a redução de custos operacionais. Da mesma forma, robôs móveis, AGVs, AMRs e drones podem assumir atividades repetitivas ou de maior risco, favorecendo a segurança dos trabalhadores.

Sob a perspectiva da logística centrada no ser humano, essas transformações exigem investimentos em capacitação profissional, ergonomia e bem-estar físico e mental. Tecnologias assistivas, como realidade aumentada e exoesqueletos, podem contribuir para reduzir a carga física e apoiar o desempenho dos trabalhadores. Nesse contexto, a atuação das lideranças, a participação dos colaboradores nos processos

de transformação e a criação de ambientes colaborativos tornam-se elementos relevantes para a produtividade e a resiliência organizacional.

Este estudo apresenta limitações decorrentes, principalmente, de seu caráter exploratório e técnico-propositivo. A análise da humanização em ambientes intensamente automatizados constitui um desafio, uma vez que aspectos relacionados ao bem-estar, à adaptação tecnológica e à percepção dos trabalhadores não foram mensurados empiricamente. Além disso, não foram realizados testes de campo nem simulações computacionais capazes de quantificar os ganhos operacionais associados às tecnologias discutidas. Outras limitações referem-se aos custos de implementação, à necessidade de capacitação profissional, à resistência organizacional à mudança e à possível incompatibilidade entre tecnologias emergentes e sistemas legados. Tais fatores podem restringir a aplicação das soluções analisadas, especialmente em organizações de menor porte ou com menor maturidade digital. Por essas razões, os resultados devem ser interpretados como possibilidades de aplicação e proposições analíticas, e não como evidências empíricas de causalidade ou de ganhos efetivamente observados.

Sugerem-se pesquisas futuras qualitativas e quantitativas sobre a interação humano-máquina (HMI) em ambientes de colaboração robótica (cobots). O objetivo é quantificar correlações entre o uso de tecnologias emergentes e a melhoria nos níveis de ergonomia, validando o impacto dessas inovações na satisfação dos colaboradores e na sustentabilidade de complexos industriais.

As tecnologias quânticas apresentam potencial para ampliar a capacidade de tratamento de determinadas classes de problemas computacionalmente complexos, além de abrir novas possibilidades para otimização e pesquisa científica. Esses avanços, no entanto, exigem planejamento de longo prazo, investimento em infraestrutura de pesquisa e políticas públicas que incentivem o desenvolvimento tecnológico de forma sustentável e inclusiva. Destacou-se também a importância de ampliar a cooperação entre diferentes esferas, academia, indústria, governo e sociedade, para que a computação quântica não se torne uma tecnologia concentrada nas mãos de poucos atores globais. A democratização do acesso por meio de plataformas abertas, o estímulo à formação de centros de excelência em países em desenvolvimento e o fortalecimento de programas educacionais voltados à alfabetização quântica são caminhos essenciais para tornar essa tecnologia mais acessível e socialmente útil. A tecnologia, por si só, não garante benefícios sociais automáticos; é o uso orientado por princípios de responsabilidade, justiça e equidade que determinará seus reais efeitos sobre a sociedade.

A computação quântica tem o potencial de ser uma das maiores revoluções tecnológicas do século XXI, mas sua efetiva contribuição dependerá de nossa capacidade coletiva de antecipar riscos, distribuir oportunidades e alinhar os avanços científicos aos valores humanos fundamentais.

Referências

ARAÚJO, Gilmar da Silva et al. Beyond The Digital Horizon: The Allure of Quantum Computing. **Aracê**, v. 7, n. 2, p. 8015–8030, 2025. DOI: <https://doi.org/10.56238/arev7n2-202>. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/3406>. Acesso em: 25 abr. 2026.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO (ALESP). Ligação entre computação quântica e soberania pauta debate na Alesp. São Paulo:

Alesp, 6 nov. 2025. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/noticia/?id=504525>. Acesso em: 25 abr. 2026.

AUPATRANS. **Logística 5.0**: em que consiste esta nova etapa?: Aupatrans, 2023. Disponível em: <https://aupatrans.com/logistica-5-0/>. Acesso em: 26 jan. 2026.

AVILA, Anderson et al. HybriD-GM: Um Modelo Paralelo para Computação Quântica Direcionado às Arquiteturas Híbridas. In: SIMPÓSIO EM SISTEMAS COMPUTACIONAIS DE ALTO DESEMPENHO (SSCAD), 25., 2024, São Carlos/SP. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2024. p. 61-72. DOI: <https://doi.org/10.5753/sscad.2024.244757>.

BRASIL. Ministério de Portos e Aeroportos. **Movimentação de cargas nos portos brasileiros bate recorde e cresce 5% de janeiro a novembro**. Brasília, DF: Ministério de Portos e Aeroportos, 9 jan. 2026. Disponível em: <https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/noticias/2026/01/movimentacao-de-cargas-nos-portos-brasileiros-bate-recorde-e-cresce-5-de-janeiro-a-novembro>. Acesso em: 7 abr. 2026.

CABRAL FILHO, Djalma Alves. **Gestão logística e tendências da Logística 4.0**. Curitiba: Atena Editora, 2023.

CAMBIUCCI, Waldemir; SILVEIRA, Regina Melo; RUGGIERO, Wilson Vicente. Arquitetura para Sistema de Computação Quântica Distribuída multi-QPU com Particionamento de Circuitos. In: WORKSHOP DE REDES QUÂNTICAS (WQUNETS), 1., 2024, Niterói/RJ. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2024. p. 7-12. DOI: <https://doi.org/10.5753/wqunets.2024.2857>.

CAMPELO, A. M.; PESSOA, L. E. S. V.; PIRES, R. R. V. Tecnologia da informação como ferramenta para a logística. **Revista Vox Metropolitana**, n. 5, p. 228-238, 2021. <https://dx.doi.org/10.48097/2674-8673.2021n5p16>

CARVALHO, G. A.; CRUZ, A. F. dos S.; SANTOS, J. V. C. Computadores Quânticos: Uma Ameaça ou uma Oportunidade para a Tecnologia e a Sociedade? **Apoena**, v. 6, p. 230–236, 2023. Disponível em: <https://publicacoes.unijorge.com.br/apoena/article/view/373>. Acesso em: 25 abr. 2026.

CAVALCANTE, Heloiza da Silva et al. Uma breve análise sobre a evolução da logística. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 16, 2019, Resende. **Anais [...]**. Resende: Associação Educacional Dom Bosco, 2019.

DIGNUM, Virginia. **Responsible Artificial Intelligence**: how to develop and use AI in a responsible way. Cham: Springer, 2022.

FAPESP. **Iniciativa de Pesquisa em Tecnologias Quânticas — QuTia**. São Paulo: FAPESP, 2024. Disponível em: <https://fapesp.br/qutia/en>. Acesso em: 25 abr. 2026.

FAPESP; FAPERJ. **Chamada de propostas de Redes FAPESP de Pesquisa em Tecnologias Quânticas**. São Paulo: FAPESP, 2025. Disponível em:

<https://fapesp.br/17567/chamada-de-propostas-de-redes-fapesp-de-pesquisa-em-tecnologias-quanticas>. Acesso em: 25 abr. 2026.

FERREIRA, Giselly Danniela de Albuquerque Cavalcanti. **Implantação do IoT, gestão cooperativa e sistemas cooperativos no Porto do Itaquí e TPM – Vale**. 2023. Tese (Doutorado em Engenharia Industrial e de Sistemas) – Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2023. Disponível em: https://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/12042/1/TD_37531.pdf. Acesso em: 7 abr. 2026.

FERRIGO, Samuel Francisco. **Inovação sustentável integrando Internet das Coisas à Logística 5.0: armazéns inteligentes como infraestruturas de serviço de apoio à sociedade**. 2025. Tese (Doutorado em Administração) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2025.

FIGUEIRAS, V. A. Trabalho, tecnologias da informação e comunicação e condições de vida: tecnologia para que(m)? “Novas” empresas e “velha” exploração do trabalho. **Revista Katálysis**, Florianópolis, v. 25, n. 1, p. 1-5, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rk/a/5v6x5YH9D3whvPcX5pfnDWK/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 jan. 2026.

FOLGUERAL, Paulo José Lopes. **Revolução 5.0: sociedade & tecnologia**. São Paulo: 2020. E-book.

FORBES BRASIL. Computação quântica será realidade no Brasil em 2025, diz CEO da IBM. **Forbes Tech**, São Paulo, 8 nov. 2022. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbes-tech/2022/11/computacao-quantica-sera-realidade-no-brasil-em-2025-diz-ceo-da-ibm/>. Acesso em: 7 abr. 2026.

GABRICH, Marcus Navarro; FREITAS, Henrique Cota de; SOUZA, Matheus Alcântara. Análise de Redes Neurais para CRISPR: Uma Abordagem com Computação Quântica. In: SIMPÓSIO EM SISTEMAS COMPUTACIONAIS DE ALTO DESEMPENHO (SSCAD), 25., 2024, São Carlos/SP. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2024. p. 13-24. DOI: <https://doi.org/10.5753/sscad.2024.244778>.

GARCIA, E. Pesquisa bibliográfica versus revisão bibliográfica: uma discussão necessária. **Revista Línguas e Letras**, Cascavel, v. 17, n. 35, p. 291-294, 2016. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/linguaseletras/article/view/13193>. Acesso em: 25 abr. 2026.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2008.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GOMES, F. J.; MELO, B. I. Caracterização dos trabalhos de Conclusão dos graduandos em tecnologia em logística do IFTO. **Revista Sítio Novo**, Palmas, v. 6, n. 4, 2022.

GROSSE, Eric H. et al. Incorporating human factors into decision support models for production and logistics: current state of research. **IFAC-PapersOnLine**, v. 50, n. 1, p. 6900-6905, 2017.

HAN, B. C. **Sociedade do cansaço**. Tradução de Enio Paulo Giachini. Petrópolis, RJ: Vozes, 2017.

KEIDANREN. **Logistics in the age of Society 5.0**. Tokyo: Keidanren, 2018. Disponível em: http://www.keidanren.or.jp/en/policy/2018/085_overview.pdf. Acesso em: 14 jan. 2026.

KHRENNIKOV, Andrei. Quantum-like cognition and AI toward the convergence of natural and artificial intelligence. **Discover Artificial Intelligence**, v. 6, n. 1, p. 167, fev. 2026.

KLAR, Robert; FREDRIKSSON, Anna; ANGELAKIS, Vangelis. Digital Twins for Ports: Derived from Smart City and Supply Chain Twinning Experience. **IEEE Access**, v. 11, p. 71777-71799, 2023.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2003.

LEITE, João Pedro Rodrigues. **Store Now, Decrypt Later: O Impacto dos Computadores Quânticos na Comunicação Digital**. 2025. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Sistemas para Internet) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2025.

LUNETTA, A.; GUERRA, R. Metodologia da pesquisa científica e acadêmica. **Revista OWL — Revista Interdisciplinar de Ensino e Educação**, v. 1, n. 2, p. 149-159, 2023.

MAHLOW, Felipe Rodrigues Perche. **Aplicações de Aprendizado de Máquina Clássico e Quântico em Informação Quântica**. 2025. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, 2025.

MELO, Fernanda Bernardes da Silva. **Redes Neurais Artificiais no âmbito da Computação Quântica**. 2023. 53 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Computação) – Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2023.

MONFERDINI, L.; TEBALDI, L.; BOTTANI, E. From industry 4.0 to industry 5.0: opportunities, challenges, and future perspectives in logistics. **Procedia Computer Science**, v. 253, p. 2941-2950, 2025.

MONTEIRO, V. N. et al. Portas Lógicas Quânticas Versus Portas Lógicas Clássicas: Uma Análise Comparativa e Suas Implicações na Computação. **Apoena**, v. 6, p. 237–241, 2023. Disponível em:

<https://publicacoes.unijorge.com.br/apoena/article/view/374>. Acesso em: 25 abr. 2026.

MONTENEGRO, L. C. S. **O sistema portuário e o uso do DUV**. Brasília, DF: Secretaria de Portos da Presidência da República, 2015.

MOSCIARO, H. S. dos; KANASHIRO, K. S. D. Problematizações das soluções de inteligência artificial Generativa relacionadas aos profissionais da educação. **Revista Sítio Novo**, Palmas, v. 9, 2025.

NASCIMENTO JUNIOR, Gilson Cruz do *et al.* **Logística 5.0**: principais desafios impostos para sua consolidação no ambiente empresarial: estudo de caso em uma empresa no segmento de distribuição de energia elétrica. Paulista: IFPE, 2024.

OLIVEIRA, T. F. D. de; AZEVEDO, C. E. F.; ARAÚJO-MOREIRA, F. M. O papel das tecnologias quânticas na disputa geopolítica entre grandes potências e seu impacto na defesa do Brasil. **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, Boa Vista, v. 22, n. 65, p. 268–296, 2025. DOI: 10.5281/zenodo.15612096. Disponível em: <https://revista.ioles.com.br/boca/index.php/revista/article/view/7200>. Acesso em: 25 abr. 2026.

PEXE, Guilherme Eduardo Lopes. **Análise do Comportamento Crítico em Cadeias Quânticas de Spins Através de Métodos Computacionais Quânticos**. 2025. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, 2025.

PHILLIPSON, Frank. **Quantum computing in logistics and supply chain management**: an overview: arXiv, 2024. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2402.17520>. Acesso em: 7 jul. 2026.

ROCHA, I. F.; KISSIMOTO, K. O. Barreiras e benefícios na adoção de inteligência artificial e IoT na gestão da operação. **Revista de Administração Mackenzie**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 1-22, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ram/a/mGpm3mhb5vZ5VLPbmmfYBwt/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 jan. 2026.

ROSALES, N. K. G.; ROBLES, J. R. L. Evolução da Indústria 4.0 para a Indústria 5.0: avaliação da estrutura conceitual e perspectivas de um campo emergente. **Transinformação**, Campinas, v. 35, p. 1-13, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/tinf/a/rMN3Jtrjd6XkRYCq8RKRdGy/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 14 jan. 2026.

SILVA, Allan Patrick da; GUIMARÃES, Luciana Maria. A inserção da inteligência artificial na logística: implicações para a eficiência operacional e a competitividade na cadeia de suprimentos. **Revista Tópicos**, v. 1, p. 1-31, 2025.

SILVA, Edinalva Brito da et al. Tecnologias aplicadas na Logística 5.0. In: FATECLOG, 15., 2024, Jundiaí. **Anais [...]**. Jundiaí: FATEC Jundiaí, 2024.

SILVA, J. D. C.; OLIVEIRA, D. S. S.; GOMES, D. B. B. **O impacto da automação dos serviços logísticos na produtividade de uma distribuidora**: estudo de caso. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Centro Universitário Brasileiro, Recife, 2022.

SOUZA, Gabriel Marques de. Análise do nível de maturidade das operações logísticas de empresas brasileiras sob o contexto da quarta revolução industrial. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

TAMBUNAN, Toufan Diansyah et al. Quantum-Inspired Optimization for Traffic Congestion: A QUBO-Based Approach with Simulated Annealing. **Journal of Applied Data Sciences**, v. 7, n. 1, p. 686-702, jan. 2026. DOI: <https://doi.org/10.47738/jads.v7i1.905>

TANIGUCHI, Vitor et al. Logística 5.0: evolução da logística e suas contribuições para as organizações. **Contemporânea — Contemporary Journal**, v. 5, n. 11, p. 1-27, 2025.

TRSTENJAK, M. et al. Logistics 5.0 implementation model based on decision support systems. **Sustainability**, Basel, v. 14, n. 11, 2022.

Informações complementares

Descrição		Declaração
Financiamento		Não se aplica.
Aprovação ética		Não se aplica.
Conflito de interesses		Não há.
Disponibilidade dos dados de pesquisa subjacentes		Não.
Uso de Inteligência Artificial		O trabalho não é um <i>preprint</i> e os dados subjacentes ao texto da pesquisa estão contidos neste artigo.
CrediT	Marcella Grangeiro Lima	Funções: concepção e desenvolvimento, desenho metodológico, supervisão, coleta tratamento dos dados, análise / interpretação, levantamento da literatura, redação e revisão crítica.
	Geysa Karla Alves Galvão	Funções: supervisão e revisão crítica.
	Deyvison Kallyson da Silva Chaves	Funções: supervisão e revisão crítica.
	Charlis Alberto Cabral de Moraes Júnior	Funções: supervisão e revisão crítica.
	José Luiz Alves	Funções: supervisão e revisão crítica.

Avaliadores: Me. Carlos Luis Mafumissa* (Universidade Lúrio. Nampula, Moçambique). O avaliador “D” optou pela avaliação fechada e pelo anonimato.

Revisor do texto em português: Antonio Armando Cordeiro Fraga**.

Revisor do texto em inglês: Antonio Armando Cordeiro Fraga**.

Revisor do texto em espanhol: Antonio Armando Cordeiro Fraga**.

Como citar (ABNT):

LIMA, Marcella Grangeiro; GALVÃO, Geysa Karla Alves; CHAVES, Deyvison Kallyson da Silva; MORAES JÚNIOR, Charlis Alberto Cabral de; ALVES, José Luiz. A evolução da logística: integração tecnológica e humanização em complexos industriais. **Revista Sítio Novo**, Palmas, v. 10, p. e2154, 2026. DOI: 10.47236/2594-7036.2026.v10.2154. Disponível em: <https://sitionovo.ifto.edu.br/index.php/sitionovo/article/view/2154>.

* Optou pela avaliação fechada e autorizou a divulgação da identidade como avaliador no trabalho publicado bem como do parecer na página da Revista. Todavia, os autores, embora tenham aceitado se corresponder com os avaliadores, não concordaram com a divulgação do parecer.

** Conforme informado pelos autores e comprovado por documento anexado ao sistema da Revista.