



Do Plano à Prática: Uma Análise dos Avanços e Desafios da Internet das Coisas no Brasil (2017-2025)

Josiano Cesar de Sousa¹

Resumo: Desde a promulgação do Plano Nacional de Internet das Coisas (IoT) em 2017, o Brasil tem se empenhado em estabelecer-se como uma referência em inovação tecnológica na América Latina, impulsionando a integração da IoT em setores estratégicos. Diante desse cenário, a presente pesquisa investiga os avanços e desafios decorrentes da implementação do Plano Nacional de IoT no Brasil entre 2017 e 2025, buscando identificar as áreas de progresso e aquelas que ainda exigem atenção contínua. Com uma abordagem qualitativa, a metodologia empregou análise documental e revisão bibliográfica de fontes publicadas no período, permitindo uma compreensão das complexidades inerentes ao tema. Os resultados revelam avanços significativos, como o crescimento da conectividade e a solidificação das regulações de proteção de dados, exemplificada pela Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), que fomentou a confiança para a adoção de soluções IoT. Contudo, desafios persistentes foram identificados, incluindo as disparidades regionais na infraestrutura de internet, especialmente em áreas rurais, e lacunas na inovação direcionada a pequenas e médias empresas. A análise aponta a necessidade de maior investimento em infraestrutura de pesquisa e no desenvolvimento de capacidades em STEM (ciência, tecnologia, engenharia e matemática) para mitigar essas lacunas. Ao final, o artigo fornece sugestões para futuras pesquisas e sugere que um foco contínuo em investimento e a formulação de políticas públicas sustentáveis são fundamentais para concretizar o vasto potencial da IoT no Brasil, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico do país.

Palavras-Chave: Brasil, Internet das Coisas, Oportunidades, Desafios.

From Plan to Practice: An Analysis of the Advances and Challenges of the Internet of Things in Brazil (2017-2025)

Abstract: Since the enactment of the National Internet of Things (IoT) Plan in 2017, Brazil has strived to establish itself as a benchmark for technological innovation in Latin America, driving the integration of IoT in strategic sectors. In this context, this research investigates the advances

¹ Doutor em Engenharia de Produção e Sistemas pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Professor Adjunto da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL). josiano.sousa@uemasul.edu.br.

and challenges arising from the implementation of the National IoT Plan in Brazil between 2017 and 2025, seeking to identify areas of progress and those that still require continuous attention. Using a qualitative approach, the methodology employed document analysis and a literature review of sources published during the period, allowing for an understanding of the complexities inherent in the topic. The results reveal significant advances, such as the growth of connectivity and the strengthening of data protection regulations, exemplified by the General Data Protection Law (LGPD), which fostered confidence in the adoption of IoT solutions. However, persistent challenges were identified, including regional disparities in internet infrastructure, especially in rural areas, and gaps in innovation directed towards small and medium-sized enterprises. The analysis points to the need for greater investment in research infrastructure and capacity building in STEM (science, technology, engineering, and mathematics) to mitigate these gaps. Finally, the article provides suggestions for future research and suggests that a continued focus on investment and the formulation of sustainable public policies are fundamental to realizing the vast potential of IoT in Brazil, contributing to the country's socioeconomic development.

Keywords: Brazil, Internet of Things, Opportunities, Challenges.

Introdução

A Internet das Coisas (IoT) representa uma das inovações tecnológicas mais transformadoras do cenário global, com o potencial de remodelar significativamente a economia e a sociedade contemporânea. Essa tecnologia se fundamenta na interconexão de dispositivos físicos e virtuais, equipados com software, sensores e capacidades de rede que permitem a coleta, transmissão e processamento de vastos volumes de dados (Moraes et al., 2022). Tal capacidade de integração de sistemas e dispositivos impulsiona eficiências operacionais e inovações em diversos setores, abrangendo desde o monitoramento remoto na saúde e a automação residencial, até cidades inteligentes, agricultura de precisão e a Indústria 4.0. Estima-se que seu impacto socioeconômico global alcance trilhões de dólares.

No Brasil, um país com aspirações de liderança em inovação tecnológica na América Latina, a IoT se apresenta como uma vasta oportunidade para o desenvolvimento econômico e social. Em 2017, com base em estudos iniciais e formalizado pelo Decreto nº 9.854/2019, o governo brasileiro lançou o Plano Nacional de Internet das Coisas. Esta iniciativa estratégica foi concebida para integrar a IoT em setores prioritários, incluindo saúde, agronegócio, cidades inteligentes e indústria, com a posterior inclusão da área de turismo (Fernandes et al., 2022; Kubota; Rosa, 2022). O plano foi elaborado por meio de um processo colaborativo que envolveu governo, setor privado e academia, visando estabelecer diretrizes estratégicas e uma

infraestrutura robusta para o surgimento de ecossistemas de inovação tecnológica no país (Sabo & Rover, 2019).

Contudo, apesar dos esforços e investimentos realizados, a implementação do Plano Nacional de IoT no Brasil ainda enfrenta desafios significativos que merecem uma análise aprofundada. A literatura especializada consistentemente aponta para a persistência de desigualdades regionais na infraestrutura de conectividade, particularmente no meio rural, que limitam o acesso e o aproveitamento dos benefícios da IoT (Moraes et al., 2022; Sousa & Freitas, 2022; Bertollo, 2021). Adicionalmente, há uma necessidade contínua de aprimoramento das políticas de segurança de dados e da cibersegurança, essenciais para proteger tanto as infraestruturas críticas quanto os dados pessoais dos usuários, minimizando riscos como invasões de privacidade e exploração indevida de informações (Silva & Jesus, 2020; Calaza, 2024; Sousa & Freitas, 2022). Outra lacuna identificada reside na importância de fomentar a inovação e o desenvolvimento tecnológico em setores específicos, com foco na expansão para pequenas e médias empresas, e na formação de talentos (Kubota et al., 2023; Sabo & Rover, 2019; Silva et al., 2023). Estas questões evidenciam lacunas de pesquisa relevantes que precisam ser melhor compreendidas para garantir o avanço pleno da IoT no país.

Nesse contexto, este artigo propõe-se a investigar quais foram os avanços alcançados com o Plano Nacional de IoT no Brasil entre 2017 e 2025. O objetivo principal é identificar os progressos e desafios superados, bem como as áreas que ainda demandam atenção contínua, destacando os avanços e obstáculos remanescentes na implementação de políticas e infraestrutura de IoT no Brasil no período analisado.

Ao longo do estudo, serão abordados aspectos críticos como as mudanças nas regulações de proteção de dados, necessárias para proporcionar segurança em um ambiente de IoT em crescimento, e a expansão das redes de conectividade, essenciais para suportar a vasta quantidade de dados gerados pelos dispositivos conectados. Além disso, serão detalhadas as barreiras persistentes que desafiam o pleno aproveitamento das potencialidades da IoT no Brasil, incluindo a desigualdade regional em termos de infraestrutura e a necessidade contínua de inovação e desenvolvimento tecnológico, explicitando os riscos a que os usuários podem ser expostos.

A metodologia empregada neste estudo envolve uma abordagem qualitativa, utilizando análise documental e revisão bibliográfica de fontes recentes (Denzin & Lincoln, 2018). Este

método é especialmente adequado para capturar a complexidade e a natureza multidimensional do tema da IoT.

Para cumprir seu objetivo, o artigo foi estruturado em cinco seções. Além desta introdução, a seção 2 apresenta a revisão bibliográfica, a seção 3 discorre sobre a metodologia utilizada, a seção 4 destaca os resultados e discussões e, por fim, a seção 5 apresenta as considerações finais e as recomendações para futuras pesquisas.

Evolução da IoT

As raízes da Internet das Coisas remontam ao surgimento das tecnologias de comunicação Máquina a Máquina (M2M), que viabilizaram a transmissão direta de dados entre dispositivos sem a necessidade de intervenção humana (Bandyopadhyay & Sen, 2011). Essa capacidade incipiente de conectar entidades físicas representou um primeiro passo fundamental para a integração de sistemas autônomos.

Com o avanço contínuo das tecnologias de rede, a miniaturização dos sensores e o desenvolvimento de protocolos de comunicação mais eficientes, a IoT transcendeu a mera conexão de dispositivos. Conforme Gubbi et al. (2013), essa evolução resultou na transformação da IoT em sistemas complexos e integrados, nos quais os dados coletados são utilizados para gerar informações e otimizar processos em uma multiplicidade de setores. Essa progressão é um reflexo direto do desenvolvimento da microeletrônica, da computação em rede, da crescente conectividade e, de forma central, da própria internet e das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC). A IoT, nesse sentido, representa uma convergência dessas inovações, criando um ambiente onde objetos cotidianos ganham capacidade de percepção, comunicação e ação, redefinindo as interações entre o mundo físico e o digital.

Políticas Públicas e Regulações em IoT no Brasil

Reconhecendo o potencial transformador da IoT, o Brasil iniciou um esforço estratégico para se posicionar como um polo de inovação tecnológica na América Latina, culminando no lançamento do Plano Nacional de IoT em 2017 (Kubota & Rosa, 2022). Esse plano, que posteriormente foi formalizado pelo Decreto nº 9.854/2019, é fruto de uma colaboração robusta entre o governo, o setor privado e a academia (Fernandes et al., 2022; Kubota & Rosa, 2022).

Seus objetivos visam melhorar a qualidade de vida, capacitar profissionais, incrementar a produtividade e competitividade das empresas brasileiras, fomentar parcerias público-privadas e fortalecer a inserção do país no cenário internacional (Silva & Jesus, 2020).

A estrutura do Plano Nacional de IoT foi concebida com quatro verticais prioritárias — Cidades Inteligentes, Saúde, Área Rural e Indústria — e quatro horizontais — Capital Humano, Inovação e Inserção Internacional, Infraestrutura de Conectividade e Interoperabilidade, e Marco Regulatório, Segurança e Privacidade. A viabilidade econômica foi incorporada posteriormente como um eixo adicional (Silva et al., 2023; Kubota & Rosa, 2022). Para sua implementação, foram instituídos projetos mobilizadores, como plataformas de inovação e centros de competência, e foi prevista a criação de um observatório nacional para monitorar o progresso da transformação digital (Brasil, 2019; Kubota & Rosa, 2022). Uma Câmara IoT também foi estabelecida para supervisionar o plano e promover parcerias estratégicas (Brasil, 2019; Kubota & Rosa, 2022).

Desde 2017, o Brasil tem demonstrado progressos na construção de um ambiente regulatório favorável à IoT. A promulgação da Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD) em 2018 (Lei nº 13.709/2018) é um marco regulatório fundamental (Silva, 2022; Silva & Jesus, 2020). Essa legislação estabelece diretrizes claras para a coleta, armazenamento e compartilhamento de dados pessoais, sendo fundamental para fomentar a confiança nas soluções de IoT e alinhar o país às melhores práticas internacionais em proteção de dados (Calaza, 2024).

Adicionalmente, iniciativas governamentais como o programa "Internet para Todos" e o leilão de espectro para a implementação das redes 5G representam avanços significativos na conectividade, que é um pilar para suportar a vasta quantidade de dados gerados pelos dispositivos IoT (Johnson, 2023; Fernandes et al., 2022). No entanto, apesar desses progressos, o arcabouço regulatório da IoT no Brasil ainda enfrenta desafios persistentes e significativos, que, conforme Sousa & Freitas (2022), afetam o desenvolvimento da tecnologia e expõem seus usuários a riscos, indicando que a regulamentação ainda carece de especificidade para a dinâmica da IoT.

Infraestrutura de IoT e Conectividade

A infraestrutura de telecomunicações constitui um pilar indispensável para o desenvolvimento pleno e eficaz da IoT. O Plano Nacional de IoT de 2017 já identificava a infraestrutura como uma área crítica, destacando a necessidade de sua ampliação e modernização (Bertollo, 2021; Silva e Jesus, 2020). Desde então, o Brasil tem experimentado um crescimento notável na implantação de redes 4G e o início da implementação do 5G, o que é fundamental para suportar o crescente número de dispositivos IoT (Kubota et al., 2023).

A tecnologia 5G, em particular, oferece capacidade superior para processar volumes massivos de dados e garante baixa latência, características fundamentais para aplicações de IoT que demandam respostas em tempo real, como veículos autônomos, automação industrial avançada e telemedicina (Moraes et al., 2022). Além das redes de comunicação, a expansão de data centers e a adoção de computação em nuvem têm proporcionado o suporte adicional necessário para o processamento e armazenamento de grandes volumes de dados gerados por dispositivos IoT (Clareza, 2024). Esses investimentos têm contribuído para a redução das desigualdades regionais e para a acessibilidade dos serviços de IoT em todo o território nacional.

Apesar desses avanços substanciais, as desigualdades regionais em termos de infraestrutura de conectividade continuam a ser um obstáculo significativo, especialmente em áreas rurais (Moraes et al., 2022; Sousa & Freitas, 2022). Essa disparidade limita a adoção da IoT em escala nacional e restringe as oportunidades de inovação em regiões menos desenvolvidas, sinalizando uma lacuna importante na distribuição equitativa dos benefícios tecnológicos. A massificação da IoT no campo, por exemplo, depende da superação de barreiras como o alto custo de equipamentos e a acessibilidade dos pacotes de dados das operadoras (Bertollo, 2021).

Inovação e Ecossistema de IoT no Brasil

O Plano Nacional de IoT enfatizou a necessidade de fomentar a criação de ecossistemas de inovação robustos no Brasil (Sabo & Rover, 2019; Kubota & Rosa, 2022). Essa iniciativa teve como objetivo principal impulsionar a colaboração entre startups, universidades e

empresas, estabelecendo diretrizes estratégicas para o florescimento da inovação tecnológica no país.

Desde a implementação do plano, tem-se observado um aumento em programas de aceleração e incubação focados em soluções de IoT, bem como diversas iniciativas governamentais destinadas a promover a pesquisa e o desenvolvimento (P&D) (Kubota et al., 2023). Universidades e centros de pesquisa desempenham um papel fundamental na geração de conhecimento e na formação de talentos na área de IoT. O apoio a startups, por meio de incubadoras e aceleradoras, tem se mostrado uma estratégia eficaz para o surgimento de novas soluções no mercado (Silva et al., 2023).

Não obstante, a literatura aponta para desafios persistentes nesse ecossistema, incluindo a necessidade de maior investimento em infraestrutura de pesquisa e no desenvolvimento de capacidades em STEM (ciência, tecnologia, engenharia e matemática) (Shima et al., 2018; Sousa, 2022; Kubota et al., 2023). Superar essas barreiras demanda maior financiamento e políticas que incentivem empreendimentos de base tecnológica a assumir riscos e inovar. A criação do observatório nacional, prevista no Plano Nacional de IoT, tem a finalidade de monitorar o progresso da transformação digital, as políticas públicas e o desenvolvimento de projetos, servindo como um repositório de informações e um meio de comunicação para mecanismos de apoio (Silva et al., 2023; Kubota et al., 2023). Contudo, a efetividade e a continuidade de tais iniciativas ainda são pontos de análise.

Tabela 1: Panorama da Revisão Bibliográfica: Fundamentos e Desafios da IoT no Brasil

Eixo Temático	Principais Aspectos Abordados	Autores/Referências Chave	Lacunas/Desafios Evidenciados
Evolução da IoT	Transição de M2M para sistemas integrados; convergência de microeletrônica, rede e TIC; complexificação dos sistemas.	Bandyopadhyay & Sen (2011), Gubbi et al. (2013)	Compreensão da velocidade de adaptação tecnológica no contexto brasileiro; desafios da interoperabilidade histórica.
Políticas Públicas e Regulações	Plano Nacional de IoT (2017), Decreto nº 9.854/2019; LGPD (2018); programas como "Internet para Todos" e 5G.	Kubota & Rosa (2022), Fernandes et al. (2022), Silva & Jesus (2020), Silva (2022), Calaza (2024), Sousa & Freitas (2022)	Especificidade da regulamentação para IoT; persistência de riscos a usuários; efetividade do Observatório Nacional.

Infraestrutura e Conectividade	Pilar fundamental para IoT; crescimento 4G/5G; data centers e computação em nuvem.	Bertollo (2021), Silva & Jesus (2020), Kubota et al. (2023), Moraes et al. (2022), Clareza (2024), Sousa & Freitas (2022)	Desigualdades regionais (áreas rurais); alto custo de equipamentos e pacotes de dados; barreiras normativas.
Inovação e Ecossistema	Fomento a ecossistemas robustos; colaboração entre startups, universidades e empresas; P&D e formação de talentos.	Sabo & Rover (2019), Kubota & Rosa (2022), Kubota et al. (2023), Silva et al. (2023), Shima et al. (2018), Sousa (2022)	Investimento em infraestrutura de pesquisa e STEM; políticas de incentivo a empreendimentos de base tecnológica; mecanismos de apoio e sua efetividade.

Fonte: Elaborado pelo autor com base na revisão bibliográfica (2025).

Metodologia

Para a elaboração deste estudo, adotou-se uma abordagem qualitativa, justificada pela imperativa necessidade de compreender fenômenos complexos em suas particularidades contextuais, característica essa que se mostra essencial na avaliação de políticas públicas e inovações tecnológicas como a Internet das Coisas (IoT). A natureza multifacetada da IoT, que envolve tanto o desenvolvimento técnico quanto as implicações sociais e econômicas, exige uma análise aprofundada que uma abordagem qualitativa é capaz de proporcionar (Denzin & Lincoln, 2018). Este método permite uma análise detalhada da documentação governamental e das perspectivas de especialistas no campo da IoT, sendo ideal para interpretar as interações e os processos complexos inerentes à implementação de um ecossistema de IoT no Brasil.

Coleta de Dados

A coleta de dados para esta pesquisa foi realizada a partir de uma variedade de fontes primárias e secundárias, abrangendo um período de análise de oito anos, de 2017 a 2025. Essa extensão temporal foi importante para acompanhar a evolução da IoT desde a publicação do Plano Nacional de IoT em 2017 até as projeções e avanços mais recentes.

Os documentos governamentais, que serviram como base documental primária para a avaliação dos avanços, incluíram:

- **Planos e estratégias:** O Plano Nacional de IoT de 2017 (MCTIC, 2017) e documentos correlatos que detalham suas diretrizes, eixos e objetivos.

- **Legislação:** A Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD - Lei nº 13.709/2018) e outras normas regulatórias relevantes para o setor de telecomunicações e tecnologia.
- **Relatórios:** Relatórios de acompanhamento e avaliação do Plano Nacional de IoT, publicados por órgãos governamentais ou entidades parceiras, bem como outros relatórios que abordam o cenário de transformação digital no país.

Os artigos acadêmicos foram selecionados mediante uma rigorosa revisão bibliográfica. As bases de dados consultadas incluíram, mas não se limitaram ao Google Scholar, sendo empregados termos de busca como "Internet of Things Brazil", "IoT policies Brazil", "IoT infrastructure Brazil" e "IoT innovation Brazil". Foram priorizados artigos publicados em periódicos com relevância científica, com foco em publicações do período de 2017 a 2025, buscando garantir a atualidade e a pertinência das informações coletadas. A abrangência das fontes permitiu uma triangulação de informações, fornecendo uma base sólida para a análise.

Análise de Dados

A análise dos dados coletados seguiu uma abordagem qualitativa, sistemática e interpretativa, visando identificar e categorizar os tópicos-chave que emergiram do conjunto de informações. Este método é reconhecido por sua eficácia em explorar conceitos em rápida evolução, como a IoT, onde novas aplicações e desafios surgem continuamente (Guest, MacQueen & Namey, 2012).

O processo de análise de dados envolveu as seguintes etapas detalhadas, fundamentadas nas diretrizes de análise temática (Braun & Clarke, 2006):

1. **Leitura e Familiarização:** Realizou-se uma leitura de todos os documentos e artigos selecionados para obter uma compreensão geral do conteúdo, dos contextos e das nuances apresentadas em cada fonte.
2. **Codificação:** Nesta etapa, trechos relevantes dos documentos e artigos foram sistematicamente identificados e marcados. Códigos iniciais foram atribuídos a esses trechos para representar os temas-chave emergentes da pesquisa, tais como "infraestrutura", "políticas", "inovação", "desafios", "oportunidades", "regulamentação de dados" e "cibersegurança".
3. **Categorização:** Os códigos foram agrupados em categorias mais amplas e coerentes, permitindo a organização lógica e temática das informações. Por exemplo, códigos

relacionados à expansão do 4G e 5G foram agrupados na categoria "melhorias na conectividade", enquanto discussões sobre LGPD e lacunas regulatórias formaram a categoria "desafios regulatórios". Esta etapa facilitou a síntese de informações complexas em temas gerenciáveis.

4. **Interpretação:** A fase final envolveu a análise aprofundada dos temas e categorias identificados, buscando estabelecer padrões, tendências e relações entre os diferentes aspectos da implementação do Plano Nacional de IoT no Brasil. Esta interpretação permitiu a construção de uma narrativa coesa sobre os avanços, desafios e oportunidades, articulando as evidências encontradas com os objetivos da pesquisa.

Esta abordagem permitiu uma compreensão robusta e multifacetada dos impactos e do desenvolvimento da IoT no Brasil, ao longo do período estudado.

Limitações da Pesquisa

Este estudo, por sua natureza qualitativa e foco em análise documental, pode não capturar integralmente as nuances da implementação da IoT em nível micro ou as percepções de todos os *stakeholders*. A dependência de documentos publicados e artigos revisados limita a exploração de dados em tempo real ou de projetos em estágios iniciais de desenvolvimento. A interpretação das políticas e dos desafios baseou-se na literatura disponível, podendo haver outras perspectivas não abordadas.

Resultados e discussão

Avanços na política de IoT no Brasil

Desde o lançamento do Plano Nacional de Internet das Coisas (IoT) em 2017, o Brasil tem demonstrado um progresso considerável na construção de um ambiente político e regulatório propício ao desenvolvimento dessa tecnologia. A institucionalização do plano pelo Decreto nº 9.854, de 25 de junho de 2019, reforçou a intenção de impulsionar a IoT no país, pautando-se na livre concorrência e na livre circulação de dados. Este plano foi embasado por um estudo abrangente realizado entre 2017 e 2018 por um consórcio liderado pela McKinsey, CPqD e Pereira Neto & Macedo Advogados, resultando em 28 documentos que detalharam

áreas verticais (cidades, saúde, rural, indústria, e posteriormente turismo) e horizontais (capital humano, inovação e inserção internacional, infraestrutura de conectividade e interoperabilidade, e regulatório, segurança e privacidade, além de viabilidade econômica). A partir de 2019, foram implementadas as Câmaras Temáticas (Câmaras 4.0) para os setores de Indústria, Agro, Cidades, Saúde e Turismo, com planos de ação e grupos de trabalho.

Um marco regulatório fundamental nesta trajetória foi a aprovação da Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) em 2018 (Lei nº 13.709/2018). Conforme Calaza (2024) e Silva & Jesus (2020), a LGPD representou um avanço significativo na consolidação de um arcabouço jurídico para a era digital no Brasil, alinhando o país às melhores práticas internacionais e, teoricamente, fomentando a confiança para a adoção de soluções de IoT. No entanto, a legislação vigente ainda carece de especificidades para abordar os desafios singulares impostos pela IoT, que envolve a coleta massiva e interconectada de dados em uma escala sem precedentes (Calaza, 2024). Essa lacuna regulatória pode dificultar a plena aplicação dos princípios de transparência e consentimento em ambientes de coleta de dados contínua e automatizada, expondo consumidores a riscos de invasão de privacidade e exploração indevida de informações, conforme apontado por Sousa & Freitas (2022). A conformidade com a LGPD, portanto, exige um esforço contínuo de adaptação e investimento das organizações, além de fiscalização eficaz.

Em paralelo à LGPD, outras iniciativas governamentais impulsionaram a política de IoT. O programa "Internet para Todos" buscou ampliar a conectividade em áreas remotas (Bertollo, 2021), essenciais para o alcance da IoT. A chegada do 5G foi um avanço significativo, oferecendo capacidade de transmissão de dados superior e menor latência, aspectos cruciais para aplicações de IoT como veículos autônomos, cidades inteligentes e Indústria 4.0. O Brasil, inclusive, tem participado de parcerias internacionais para o desenvolvimento do 5G (BRASIL, 2017). Tecnologias de rede de baixo custo e baixo consumo de energia, como as LPWANs (Low Power Wide Area Networks), que incluem padrões como LoRa (Long Range) e SigFox, também se destacam como alternativas promissoras para expandir a conectividade em áreas onde as soluções tradicionais de telecomunicações são inviáveis (Garcia & Kleinschmidt, 2017).

O governo brasileiro tem promovido Parcerias Público-Privadas (PPPs) para impulsionar a pesquisa e o desenvolvimento (P&D) no setor de IoT. O apoio a startups por meio de incubadoras e aceleradoras tem se mostrado uma estratégia eficaz para o surgimento de

novas soluções de IoT no mercado (Silva et al., 2023). Programas de fomento, como os editais lançados pela FINEP e pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) a partir de 2020, direcionaram recursos não reembolsáveis para projetos de inovação em temáticas como Agro 4.0, Cidades Inteligentes, Indústria 4.0 e Saúde 4.0 (Kubota et al., 2023). A Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII) também oferece um Programa Prioritário (PPI) em IoT/Manufatura 4.0. A IoT é reconhecida como uma ferramenta importante para promover o setor de P&D e estimular investimentos públicos e privados nas áreas verticais selecionadas, sendo parte integrante da Estratégia Brasileira para a Transformação Digital (E-Digital) ciclo 2022-2026 (Kubota et al., 2023).

Apesar dos avanços, persistem desafios significativos. As desigualdades regionais na infraestrutura de conectividade, especialmente em áreas rurais e remotas, continuam a limitar o acesso aos benefícios da IoT. Há uma necessidade contínua de maior investimento em infraestrutura de pesquisa e no desenvolvimento de capacidades em STEM (ciência, tecnologia, engenharia e matemática). É fundamental que a adoção da IoT se expanda para pequenas e médias empresas (PMEs) e empreendimentos agrícolas, não se restringindo apenas a grandes corporações (Ribeiro et al., 2024). A implementação do 5G requer investimentos consideráveis e a superação de obstáculos regulatórios. A interoperabilidade dos sistemas de IoT e a segurança cibernética são preocupações contínuas que demandam regulamentação clara e eficaz.

Um ponto crítico reside na atuação regulatória. Embora o Decreto nº 9.854/2019 seja pioneiro, ele carece de força executória por si só, dependendo de ações subsequentes do Estado (Sousa & Freitas, 2022). Atualmente, a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) atua, ainda que indiretamente, como principal agente regulador da IoT, dado o seu impacto nas telecomunicações. No entanto, sua estrutura e mandato, criados em um contexto regulatório distinto (1997), não foram concebidos especificamente para as complexidades e nuances da economia digital e da IoT, onde a agilidade e a especificidade regulatória são cruciais. Como defendido por Sousa & Freitas (2022), para uma expansão plena da IoT, seria necessária uma autoridade regulatória independente e autônoma, focada exclusivamente na IoT, capaz de garantir o desenvolvimento tecnológico e o respeito aos direitos dos usuários com maior agilidade e expertise específica. Esta autonomia e independência, que a ANATEL possui em seu escopo geral, precisam ser replicadas em um modelo mais direcionado e especializado para IoT. Para superar essas barreiras, é essencial aumentar o financiamento e criar políticas que incentivem empreendimentos de base tecnológica a assumir riscos e inovar, promovendo

também a internacionalização das startups brasileiras de IoT (Sousa & Freitas, 2022), buscando inspiração em países líderes que já possuem marcos regulatórios adaptados.

Melhorias na Infraestrutura e Conectividade de IoT

A infraestrutura de telecomunicações constitui um pilar fundamental para o desenvolvimento pleno e eficaz da IoT. Desde 2017, o Brasil tem demonstrado um progresso significativo nesse domínio, impulsionado principalmente pela implementação das redes 5G, que inaugurou uma nova era de conectividade, essencial para suportar o crescente número de dispositivos IoT (Kubota et al., 2023).

A tecnologia 5G oferece a capacidade de processar volumes massivos de dados e garante baixa latência, ambos fundamentais para aplicações que demandam respostas em tempo real. Essa capacidade é particularmente relevante para setores como o automotivo (veículos autônomos), o industrial (automação avançada) e o de saúde (telemedicina), que dependem de uma comunicação rápida e confiável (Moraes et al., 2022). Os avanços na infraestrutura não se restringem apenas às redes de comunicação. Os investimentos em data centers desempenham um papel igualmente importante, uma vez que a IoT gera quantidades vastas de dados que exigem capacidades robustas de armazenamento e processamento. A construção de novos data centers em diversas regiões do país tem contribuído para a garantia de que os serviços de IoT se tornem mais acessíveis e eficientes (Clareza, 2024; Mendonça & Andrade, 2019). Esses data centers, equipados com tecnologias de ponta, permitem o processamento e análise de dados em tempo real, abrindo novas possibilidades para a inovação e o desenvolvimento de soluções de IoT (Sousa & Freitas, 2022).

Apesar dos avanços significativos, persistem desafios importantes a serem superados. As desigualdades regionais ainda representam um obstáculo considerável, especialmente em áreas rurais e remotas, onde a conectividade permanece limitada (Moraes et al., 2022; Sousa & Freitas, 2022). Essa disparidade dificulta a adoção da IoT em escala nacional e restringe as oportunidades de inovação em regiões menos desenvolvidas. A massificação da IoT no campo, por exemplo, depende da superação de obstáculos como o alto custo de equipamentos e o valor por megabyte dos pacotes das operadoras. Nesse contexto, os provedores regionais desempenham um papel fundamental na capilarização dos sistemas técnicos e informacionais no campo (Bertollo, 2021). Para mitigar esse problema, é necessário implementar políticas

públicas que incentivem o investimento em infraestrutura de telecomunicações nessas áreas negligenciadas, como a concessão de subsídios e incentivos fiscais para empresas que atuam em regiões com baixa cobertura (Kubota & Rosa, 2023).

Outro desafio significativo é a interoperabilidade dos sistemas de IoT. Com a proliferação de fabricantes e empresas desenvolvendo soluções de IoT, a ausência de padrões comuns pode gerar silos tecnológicos, dificultando a comunicação entre dispositivos distintos. O estabelecimento de normas e protocolos comuns é fundamental para garantir que a IoT alcance seu pleno potencial, possibilitando o desenvolvimento de soluções integradas e colaborativas (Calaza, 2024; Almeida, 2021). Para promover a interoperabilidade, é necessário incentivar a adoção de padrões abertos e a criação de plataformas que permitam a comunicação entre diferentes dispositivos e sistemas.

Adicionalmente, a implantação de tecnologias de rede de baixo custo e baixo consumo de energia, conhecidas como LPWANs (Low Power Wide Area Networks), que incluem LoRaWAN e Sigfox, tem se mostrado promissora para expandir a conectividade em áreas remotas e rurais, onde as soluções tradicionais de telecomunicações podem ser inviáveis (Garcia & Kleinschmidt, 2017). Essas tecnologias permitem a conexão de dispositivos com baixo consumo de energia, como sensores e medidores inteligentes, em áreas com infraestrutura limitada. Os esforços para expandir a infraestrutura de IoT também se refletem em parcerias estratégicas e investimentos estrangeiros, que têm sido fundamentais para trazer tecnologias de ponta e conhecimentos especializados ao Brasil. Apesar dos progressos alcançados, é imperativo que se continuem a implementar melhorias para garantir que todos os segmentos da sociedade possam se beneficiar igualmente da IoT.

Desafios Regulatórios e de Inovação

Apesar dos progressos observados na implementação da IoT no Brasil desde a publicação do Plano Nacional de IoT em 2017, o ecossistema ainda enfrenta desafios significativos, especialmente nas áreas de regulação e inovação.

Desafios na Proteção de Dados e Privacidade

A promulgação da Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) em 2018 representou um marco fundamental para a proteção de dados pessoais no Brasil (Calaza, 2024; Kubota & Rosa, 2023). Contudo, sua implementação tem suscitado questões complexas que demandam soluções urgentes, especialmente em face da IoT. A legislação vigente no Brasil, embora significativa, carece de especificidades para abordar os desafios únicos impostos pela IoT (Calaza, 2024; Silva et al., 2023). Isso ocorre porque a LGPD foi projetada primariamente para ambientes digitais mais tradicionais, e não para os ecossistemas interconectados e automatizados que caracterizam a IoT, que envolvem a coleta massiva e interconexão de dados em uma escala sem precedentes (Calaza, 2024). A ausência de uma regulamentação específica para o setor de IoT deixa uma lacuna crítica na proteção dos consumidores, expondo-os a riscos como invasão de privacidade e exploração indevida de informações pessoais (Calaza, 2024; Silva & Jesus, 2020).

Desafios de Cibersegurança

A segurança da informação é uma das maiores problemáticas identificadas na IoT, devido à complexidade e ao volume de dispositivos interconectados (Governo do Brasil, 2017; Silva & Jesus, 2020; Rosa et al., 2020). O aumento exponencial do número de dispositivos IoT e o consequente incremento do risco de ameaças cibernéticas exigem uma regulamentação clara em torno da cibersegurança (Martins & Souza, 2023). Riscos sistêmicos surgem de falhas na implementação de protocolos de segurança e vulnerabilidades intrínsecas aos dispositivos (Governo do Brasil, 2017). É imperativo implementar soluções eficazes para proteger tanto as infraestruturas críticas quanto os dados pessoais dos usuários, prevenindo ataques e garantindo a segurança e a confiabilidade dos sistemas de IoT. O governo do Brasil tem incentivado a adoção de normas de cibersegurança baseadas em padrões internacionais (Fernandes et al., 2022), e o Ato Normativo nº 77/2021 da Anatel é um exemplo dessa medida, aplicando-se integralmente a processos e tecnologias que utilizam IoT (Sousa & Freitas, 2022). Contudo, a aplicação e a fiscalização dessas normas permanecem desafiadoras devido à diversidade do mercado de IoT e à proliferação de fornecedores.

Desafios de Inovação e Ambiente de Negócios

Apesar de iniciativas para apoiar startups e fomentar a pesquisa e o desenvolvimento, muitos empreendedores ainda enfrentam obstáculos burocráticos e dificuldades para acessar financiamento (Johnson, 2023). Investidores de capital de risco frequentemente demonstram aversão ao risco, especialmente em um mercado onde as regulamentações podem se alterar rapidamente. Para superar esses desafios, é fundamental simplificar os processos burocráticos, reduzir a carga tributária e criar mecanismos de financiamento inovadores que incentivem o investimento em startups e projetos de IoT (Silva et al., 2023). A alta taxa sobre dispositivos inteligentes dificulta sua adoção e inibe o desenvolvimento do setor no Brasil (Silva et al., 2023), especialmente para pequenas e médias empresas (PMEs) que possuem menor capital para investimentos iniciais.

Lacunas no Arcabouço Regulatório

O contexto regulatório que originou a Anatel em 1997 é significativamente diferente da realidade atual da economia digital, onde os serviços de internet e dados são de primária importância (Kubota & Rosa, 2023). A regulação da IoT no Brasil, mesmo com o pioneirismo do Decreto nº 9.854/2019, que institui o Plano Nacional de IoT, ainda se mostra com lacunas e imprecisões. Embora o decreto estabeleça premissas, diretrizes e objetivos relevantes, ele falha ao não especificar como esses objetivos serão atingidos, nem identifica as ferramentas ou os principais atores responsáveis por essa execução, carecendo de força executória própria (Sousa & Freitas, 2022). Apesar da proatividade do Brasil na criação de uma agenda regulatória para novas tecnologias (Sousa & Freitas, 2022), a intervenção tem ficado a cargo de entidades estatais indiretamente vinculadas à IoT, como a Anatel, cuja atuação se concentra nas telecomunicações e não nas especificidades multidisciplinares da IoT.

Para uma expansão plena da IoT, é defendida a necessidade de uma autoridade regulatória independente e autônoma, como uma Agência Reguladora dedicada, para garantir o desenvolvimento tecnológico e o respeito aos direitos dos usuários, considerando a singularidade da coleta e tratamento de dados na IoT (Sousa & Freitas, 2022). Um exemplo de solução para testar novas tecnologias em um ambiente regulatório mais flexível são os

"sandboxes regulatórios", que permitem experimentar inovações com regulamentação reduzida e controlada.

Formação de Talentos e Inclusão Digital

A falta de profissionais com as competências necessárias para desenvolver e utilizar as novas tecnologias digitais relacionadas à IoT é um grande desafio (Kubota & Rosa, 2023). Programas educacionais focados em STEM (ciência, tecnologia, engenharia e matemática) e parcerias com universidades são estratégias eficazes para suprir essa necessidade (Fernandes et al., 2022). Iniciativas como "bootcamps" (cursos intensivos e práticos) e programas de capacitação rápida podem complementar a formação tradicional.

É necessário promover a inclusão digital, garantindo que todos os cidadãos tenham acesso às tecnologias e aos conhecimentos necessários para participar da economia digital. Além disso, incentivar a participação de mulheres e minorias nas áreas de STEM promove a diversidade e a inclusão no setor de IoT.

Interoperabilidade e Escalabilidade

Outro desafio significativo é a interoperabilidade dos sistemas de IoT. Com a proliferação de fabricantes e empresas desenvolvendo soluções, a ausência de padrões comuns pode dificultar a comunicação entre dispositivos distintos. O estabelecimento de normas e protocolos comuns é fundamental para o pleno potencial da IoT.

Um dos principais desafios para a popularização da IoT no Brasil é garantir que sua adoção não se limite a casos de sucesso em grandes empresas, mas que ganhe escala e seja uma realidade também nas pequenas e médias empresas e nos empreendimentos agrícolas (Kubota & Rosa, 2023). É importante que os fornecedores de soluções desenvolvam diferentes modelos de negócio, com opções de gastos de capital ou custeio, para atender às necessidades dos clientes (Kubota & Rosa, 2023).

Oportunidades e Áreas de Crescimento Futuro

O horizonte de crescimento da Internet das Coisas (IoT) no Brasil apresenta-se vasto e promissor, oferecendo oportunidades significativas em uma ampla gama de setores, com o

potencial de remodelar a economia e a sociedade contemporânea. O Brasil, ao contrário de oportunidades perdidas em décadas anteriores no setor de eletroeletrônicos, demonstra um otimismo maior em relação à IoT, possuindo um sistema setorial de inovação capaz de gerar e implementar as tecnologias necessárias (Kubota & Rosa, 2023).

Entre os campos mais promissores, destaca-se a agricultura, onde a IoT tem o potencial de revolucionar as práticas agrícolas, impulsionando a eficiência e a sustentabilidade. Ao utilizar sensores para monitorar as condições do solo, o clima e a umidade, os agricultores podem otimizar o uso de recursos como água e fertilizantes, adotando uma abordagem mais precisa e eficiente. Essa prática, conhecida como agricultura de precisão aprimora a eficiência e eleva a produtividade, posicionando o Brasil de forma estratégica no cenário agrícola global.

Potencial de Transformação e Crescimento Econômico

A IoT é considerada a primeira evolução real da internet, com consequências revolucionárias capazes de melhorar a forma como as pessoas se relacionam (Silva & Jesus, 2020). Ela se destaca por sua capacidade de impulsionar eficiências operacionais e inovações que antes eram inviáveis. A capacidade de reinventar digitalmente os negócios é determinada em grande parte por uma estratégia digital clara, apoiada por líderes que promovem uma cultura capaz de mudar e inventar o novo (Mendonça & Andrade, 2019).

Segundo estimativas citadas por Silva & Jesus (2020) e Silva et al. (2023), inicialmente projetadas pela consultoria McKinsey Global Institute, o impacto da IoT na economia global será de 4% a 11% do PIB do planeta até 2025, algo entre US\$ 3,9 e US\$ 11,1 trilhões. Para o Brasil, a expectativa é de US\$ 50 a US\$ 200 bilhões no mesmo período, posicionando a IoT como uma das maiores tendências tecnológicas no setor de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC). A IoT representa uma oportunidade para criar novos modelos de negócios e abrir novos mercados inovadores, sendo que startups e a IoT estão em crescimento considerável, transformando negócios e oferecendo soluções para problemas diversos (Silva et al., 2023).

Setores Estratégicos com Oportunidades em IoT

Plano Nacional de IoT de 2017 e a Estratégia Brasileira para a Transformação Digital (E-Digital) identificaram e priorizaram áreas verticais chave para a aplicação da IoT no Brasil, a saber:

- I. **Agronegócio:** A IoT tem o potencial de revolucionar as práticas agrícolas, impulsionando a eficiência e a sustentabilidade. As aplicações incluem o monitoramento do solo (umidade, níveis de nutrientes), acompanhamento do crescimento de culturas e surtos de doenças, e otimização de equipamentos agrícolas (Silva & Espejo, 2024). Por exemplo, o uso de sensores para irrigação inteligente e drones para mapeamento de lavouras permite uma "agricultura de precisão", aprimorando a eficiência e elevando a produtividade. O Brasil, sendo um dos líderes mundiais no agronegócio, tem necessidades e potencial para o desenvolvimento de pesquisas e aplicações de IoT nesta área (Silva & Espejo, 2024). A ampliação da conectividade no campo, apoiada por recursos como o Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações (Fust), é fundamental para massificar a adoção da IoT entre produtores rurais (Kubota & Rosa, 2023).
- II. **Saúde:** A IoT desponta como um catalisador de transformação na saúde, impulsionando o conceito de "Saúde 4.0". As aplicações incluem o monitoramento remoto de pacientes crônicos, telemedicina para áreas remotas, gestão inteligente de estoques de medicamentos e a digitalização de prontuários médicos (Rosa et al., 2020). Tecnologias como dispositivos vestíveis (wearables) permitem o acompanhamento contínuo da saúde individual, melhorando a agilidade nas respostas médicas e a autonomia do paciente, bem como a qualidade de vida geral.
- III. **Cidades Inteligentes (Smart Cities):** A IoT permite a criação de cidades inteligentes que utilizam a tecnologia de modo estratégico para otimizar a mobilidade urbana, criar soluções sustentáveis e melhorar a infraestrutura, trazendo qualidade de vida aos cidadãos (Silva et al., 2023). São José dos Campos, por exemplo, foi a primeira cidade do Brasil a ser certificada como inteligente, utilizando a IoT para serviços como o Sigpark, que informa sobre vagas de estacionamento (Kubota & Rosa, 2023).

- IV. **Indústria 4.0:** A IoT é um valioso aliado da Indústria 4.0, impulsionando a automação avançada de processos industriais (Silva et al., 2023). A integração de sensores e análises preditivas aprimora a manutenção e o desempenho dos equipamentos, resultando em melhorias significativas na eficiência operacional. A IoT possibilita a criação de fábricas inteligentes, com processos automatizados e otimizados que operam de forma mais eficiente e sustentável. Empresas que adotam essas tecnologias se posicionam de forma mais competitiva no cenário global. Iniciativas como a "Jornada de Transformação Digital" do Sistema S de São Paulo visam apoiar a adoção de TICs por micro, pequenas e médias indústrias (Kubota & Rosa, 2023).
- V. **Outras áreas:** a) **Energia:** Projetos de IoT focam na distribuição de energia, otimização de rede, monitoramento e gerenciamento remoto de ativos, manutenção preditiva e maior transparência para clientes (Silva et al., 2023). b) **Logística:** A IoT é essencial para a rastreabilidade de produtos agrícolas, para o monitoramento de cargas (Kubota & Rosa, 2023) e na coordenação da cadeia de suprimentos (Silva & Espejo, 2024). E c) **Turismo:** O setor de turismo foi incluído como área vertical do Plano Nacional de IoT, com a criação da Câmara do Turismo 4.0 (Kubota & Rosa, 2023).

Desafios para a Expansão e Recomendações

Apesar das vastas oportunidades, a plena realização do potencial da IoT no Brasil depende da superação de desafios persistentes, especialmente na escala de adoção (Kubota & Rosa, 2023). As seguintes áreas podem ser destacadas:

- a. **Formação de Talentos e Inclusão Digital:** A falta de profissionais com as competências necessárias para desenvolver e utilizar as novas tecnologias digitais relacionadas à IoT é um grande desafio (Kubota & Rosa, 2023). É imprescindível desenvolver talentos por meio de programas educacionais focados em STEM, parcerias com universidades e investimentos em educação técnica e formação profissional, além de programas como "bootcamps". Além disso, é necessário promover a inclusão digital, garantindo que todos os cidadãos tenham acesso às tecnologias e aos conhecimentos para participar da economia digital.

- b. **Ambiente Regulatório e de Negócios:** É fundamental simplificar os processos burocráticos, reduzir a carga tributária e criar mecanismos de financiamento inovadores que incentivem o investimento em startups e projetos de IoT. A alta taxa  o sobre dispositivos inteligentes dificulta sua adoção (Silva et al., 2023). O estabelecimento de normas e protocolos comuns é fundamental para a interoperabilidade dos sistemas de IoT e para seu pleno potencial. A flexibilidade regulatória é essencial, e a adoção de um modelo que incorpore feedback constante dos *stakeholders* pode adaptar as normas às necessidades do mercado e às novas tecnologias. A criação de "sandboxes regulatórios" (ambientes controlados para testar novas tecnologias com regulamentação reduzida)   uma medida proposta para agilizar a inovação. A falta de uma regulamentação específica para IoT ainda é uma lacuna, com a legislação existente carecendo de especificidades para abordar os desafios impostos pela IoT (Calaza, 2024; Sousa & Freitas, 2022). Para tanto, o Brasil deve aprender e adaptar as melhores práticas de outros países líderes em IoT e buscar a adoção de padrões internacionais que possam proporcionar uma plataforma para influenciar as tendências globais no desenvolvimento de IoT.

Tabela 2: Síntese de Avanços e Desafios da IoT no Brasil (2017-2025).

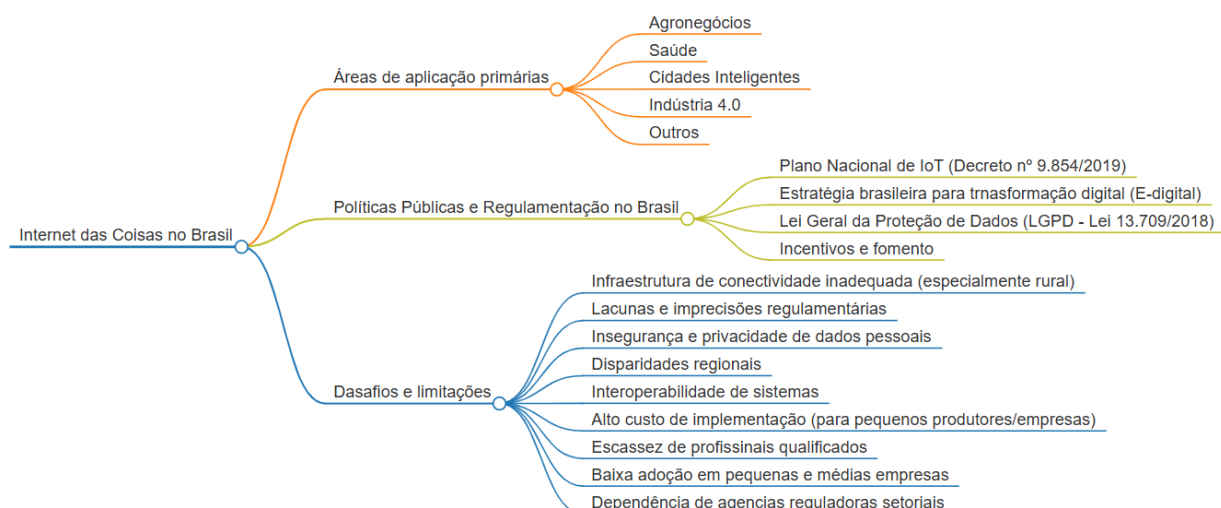
Dimensão	Avanços Registrados	Desafios Persistentes
Política e Regulação	<p>Lançamento do Plano Nacional de IoT (2017) e formalização (Decreto n� 9.854/2019).</p> <p>Aprovação da LGPD (2018), marco para proteção de dados.</p> <p>Criação de Câmaras Temáticas e programas de fomento (FINEP, MCTI, EMBRAPAII).</p> <p>Participação em parcerias internacionais (5G).</p>	<p>Lacunas na especificidade regulatória da LGPD para IoT (Calaza, 2024).</p> <p>Risco de invasão de privacidade e exploração de dados (Sousa & Freitas, 2022).</p> <p>Falta de força executória do Decreto n� 9.854/2019.</p> <p>Necessidade de autoridade regulatória aut�noma e específica para IoT (Sousa & Freitas, 2022).</p>
Infraestrutura e Conectividade	<p>Expansão das redes 4G e início da implementação do 5G (Kubota et al., 2023).</p> <p>Investimentos em data centers e adoção de computação em nuvem (Clareza, 2024).</p> <p>Uso de LPWANs (LoRaWAN, Sigfox) para áreas remotas (Garcia & Kleinschmidt, 2017).</p> <p>Parcerias estratégicas e investimentos estrangeiros.</p>	<p>Desigualdades regionais na infraestrutura, especialmente em áreas rurais (Moraes et al., 2022).</p> <p>Alto custo de equipamentos e pacotes de dados no campo (Bertollo, 2021).</p> <p>Ausência de padrões comuns para interoperabilidade entre sistemas.</p>

		Áreas negligenciadas de investimento em infraestrutura.
Inovação e Ecossistema	Aumento de programas de aceleração e incubação de startups IoT. Papel fundamental de universidades e centros de pesquisa. Iniciativas governamentais de P&D. Criação de um observatório nacional (Silva et al., 2023).	Obstáculos burocráticos e dificuldades de acesso a financiamento (Johnson, 2023). Alta taxa sobre dispositivos inteligentes (Silva et al., 2023). Necessidade de maior investimento em infraestrutura de pesquisa e STEM (Shima et al., 2018). Dificuldade de expansão da IoT para PMEs e agricultura familiar (Kubota & Rosa, 2023).
Formação de Talentos	Programas educacionais focados em STEM e parcerias com universidades (Fernandes et al., 2022). Incentivo à participação de mulheres e minorias em STEM.	Falta de profissionais qualificados em IoT (Kubota & Rosa, 2023). Necessidade de programas de capacitação e inclusão digital amplos (Kubota & Rosa, 2023). Currículos desatualizados em relação às tecnologias IoT.

Fonte: Elaborado pelo autor, com base no referencial teórico (2025).

Um resumo dos principais pontos e discussões relacionados à Internet das Coisas no Brasil é apresentado na figura 01 abaixo:

Figura 01: Mapa mental da Internet das Coisas no Brasil



Fonte: elaborado pelo autor, 2025.

Para futuras pesquisas, sugere-se aprofundar a análise nas seguintes direções, visando contribuir com o avanço teórico e prático:

- I. *Modelos de governança adaptativa para IoT*: Investigar comparativamente como outros países em desenvolvimento têm implementado *regulatory sandboxes* ou *frameworks de regulação responsiva* especificamente para IoT, e quais lições podem ser extraídas para o Brasil no alinhamento da LGPD com as particularidades da coleta e uso de dados para IoT.
- II. *Impacto do financiamento público na disparidade regional da IoT*: Conduzir estudos de caso ou análises quantitativas sobre a efetividade de programas de incentivo fiscal e subsídios para a expansão da infraestrutura de IoT em áreas rurais e remotas, para identificar o retorno social e econômico de tais investimentos e como eles se comparam aos modelos de negócios puramente privados na redução da exclusão digital.
- III. *Barreiras comportamentais e organizacionais à adoção da IoT em PMEs*: Além das barreiras de custo e infraestrutura, explorar os fatores culturais, de gestão e de capacitação que impedem a adoção massiva da IoT por pequenas e médias empresas e produtores rurais, propondo modelos de intervenção baseados em teorias de difusão de inovações.
- IV. *Avaliação longitudinal da efetividade das câmaras temáticas e observatórios de IoT*: Analisar o impacto real das estruturas de governança criadas pelo Plano Nacional de IoT (ex: Câmaras 4.0, Observatório Nacional de Transformação Digital) na coordenação, fomento e monitoramento do ecossistema, identificando gargalos e oportunidades para otimizar sua atuação e garantir a força executória das diretrizes.

Considerações Finais

A análise da trajetória da Internet das Coisas (IoT) no Brasil desde 2017, realizada neste artigo, destaca um percurso marcado por avanços significativos, embora permeado por desafios persistentes. O Plano Nacional de IoT, lançado naquele ano e posteriormente formalizado pelo Decreto nº 9.854/2019, estabeleceu as bases para um ambiente político e tecnológico que busca integrar dispositivos conectados em diversos setores, desde a agricultura até as cidades inteligentes. O Brasil, demonstrando otimismo e possuindo um sistema setorial de inovação capaz de gerar e implementar as tecnologias necessárias, tem se esforçado para consolidar sua posição neste cenário global.

Este estudo cumpriu seu objetivo central de identificar os avanços e desafios remanescentes na implementação de políticas e infraestrutura de IoT no Brasil entre 2017 e 2025. Em resposta direta à pergunta de pesquisa, observou-se que o Brasil alcançou progressos notáveis em múltiplas frentes. A implementação da Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) representou um marco regulatório fundamental, alinhando o país com práticas internacionais de proteção de dados e fomentando a confiança entre os consumidores. A expansão das redes 4G e o início da implementação do 5G ampliaram consideravelmente as capacidades de conectividade, permitindo inovações nos setores industriais e urbanos. Iniciativas de apoio a startups, programas de fomento e capacitação em STEM contribuíram para o fortalecimento do ecossistema de inovação e para a formação de talentos na área de IoT. Esses avanços indicam um esforço contínuo em direção à digitalização do país.

Não obstante os progressos, a análise também revelou desafios importantes que ainda precisam ser superados. As desigualdades regionais na infraestrutura de conectividade persistem, limitando o acesso aos benefícios da IoT em áreas rurais e remotas. A implementação da LGPD enfrenta obstáculos relacionados à sua especificidade para IoT, demandando harmonização com outras regulamentações setoriais e garantia de recursos adequados para fiscalização e aplicação da lei.

A cibersegurança continua sendo uma preocupação crescente, exigindo a adoção de medidas robustas para proteger dados sensíveis e sistemas críticos. Adicionalmente, lacunas no ambiente de negócios e no arcabouço regulatório, incluindo a necessidade de uma autoridade regulatória mais especializada para IoT, bem como desafios relacionados à formação de talentos e interoperabilidade, ainda se mostram como barreiras para a plena concretização do potencial da IoT no Brasil, conforme discutido detalhadamente na seção 4.

Diante desse cenário complexo, é fundamental que o país continue a investir na expansão da infraestrutura de conectividade, priorizando a redução das desigualdades regionais e o acesso à internet em áreas rurais e remotas. A harmonização da LGPD com outras regulamentações setoriais e o fortalecimento da fiscalização são essenciais para garantir a segurança e a privacidade dos dados pessoais. Além disso, o apoio a startups e programas de capacitação deve ser intensificado, a fim de fortalecer o ecossistema de inovação e preparar uma força de trabalho qualificada para os desafios tecnológicos do futuro. É importante que o Brasil continue a se engajar no cenário global, aprendendo e adaptando as melhores práticas de

outros países líderes em IoT, adotando padrões internacionais e explorando modelos como os "sandboxes regulatórios" para acelerar a inovação de forma controlada.

Referências

- Bandyopadhyay, D., & Sen, J. (2011). Internet of Things—Applications and challenges in technology and standardization. *Wireless Personal Communications*, 58(1), 49–69. doi:10.1007/s11277-011-0288-5
- Calaza, T. (2024). Evolução e regulação da privacidade e proteção de dados no contexto da Internet das Coisas no cenário brasileiro. *Revista do Centro Acadêmico Afonso Pena*, 29(1).
- Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (Eds.). (2018). *The SAGE handbook of qualitative research* (5th ed.). Sage.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660. doi:10.1016/j.future.2013.01.010
- Guest, G., MacQueen, K. M., & Namey, E. E. (2012). *Applied thematic analysis*. Sage Publications.
- Internet das Coisas (IoT) no Brasil: Panorama de avanços e desafios*. (n.d.). [Documento não publicado].
- Kane, G. C., Palmer, D., Phillips, A. N., Kiron, D., & Buckley, N. (2015). Strategy, not technology, drives digital transformation. *MIT Sloan Management Review*, 56(3), 1–18.
- Kubota, L. C., & Rosa, M. B. (2022). Internet das Coisas no Brasil: Breve descrição de políticas e casos de sucesso. *Radar: Tecnologia, Produção e Comércio Exterior*, (71), 17–23.
- Kubota, L. C., & Rosa, M. B. (2023). *Internet das Coisas no Brasil: Análise e recomendação de políticas com ênfase no agronegócio* (Texto para Discussão, n. 2867). Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). doi:10.38116/td2867
- Rosa, C. M., Souza, P. A. R. de, & Silva, J. M. da. (2020). Inovação em saúde e internet das coisas: Um panorama do desenvolvimento científico e tecnológico. *Perspectivas em Ciência da Informação*, 25(3), 164–181. doi:10.1590/1981-5344/3885
- Sabo, I. C., & Rover, A. J. (2019). Internet das Coisas (IoT) e direito: Uma avaliação do plano de ação para o Brasil 2017/2022 sob a visão sistêmica. *Revista de Direito, Governança e Novas Tecnologias*, 5(1), 1–22.
- Shima, W., Gondin, P. R., Lopes, M. C., & Vargas, M. (n.d.). *Lições da Política Nacional de Informática para uma Nova Política Industrial de Internet das Coisas (Internet-of-Things – IoT)*. [Manuscrito não publicado].

Silva, E. C., & Espejo, M. M. dos S. B. (2024). Adoção da Internet das Coisas (IoT) na agropecuária: Uma revisão sistemática sobre as possibilidades de adoção no ambiente produtivo rural brasileiro. *Interações*, 25(4), 523–571. doi:10.20435/inter.v25i4.4024

Silva, I. L. de O. da, & Jesus, D. S. de. (2020). O impacto do avanço da internet das coisas no Brasil. *Brazilian Journal of Development*, 6(12), 101749–101758. doi:10.34117/bjdv6n12-606

Silva, N. M., Silva, I. R., Acioly, T. M. da S., & Viana, D. C. (2023). Modelo de negócios baseado na Internet das Coisas: Uma análise das oportunidades de novos negócios – revisão de literatura. *Interações*, 24(2), 506–522. doi:10.20435/inter.v24i2.3685

Sousa, D. da R., & Freitas, C. O. de A. (2022). Os desafios e as perspectivas para a regulamentação da Internet das Coisas no Brasil. *International Journal of Digital Law*, 3(2), 51–68. doi:10.47975/IJDL.freitas.v.3.n.2



Recebido: 07/10/2025; Aceito 06/11/2025; Publicado em: 30/12/2025.