



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Estudo e Investigação sobre a Tecnologia 5G no Brasil:  
Uma Revisão Sistemática**

**GABRIEL DE OLIVEIRA SOBRINHO e RAFAELA COSTA BARROSO**

**Orientador Prof. Dr. Hugerles Sales Silva**

Graduação em Engenharia Elétrica

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**Estudo e Investigação sobre a Tecnologia 5G no Brasil: Uma Revisão Sistemática**

**Study and Research on 5G Technology in Brazil: A Systematic Review**

**GABRIEL DE OLIVEIRA SOBRINHO e RAFAELA COSTA BARROSO**

**Orientador: Prof. Dr. Hugerles Sales Silva, ENE/UnB**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Estudo e Investigação sobre a Tecnologia 5G no Brasil:  
Uma Revisão Sistemática**

**GABRIEL DE OLIVEIRA SOBRINHO e RAFAELA COSTA BARROSO**

**Orientador Prof. Dr. Hugerles Sales Silva**

*Trabalho de Conclusão de Curso submetida ao Departamento de Engenharia  
Elétrica como requisito parcial para obtenção  
do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica*

Banca Examinadora

Prof. Dr. Hugerles Sales Silva, ENE/UnB  
*Presidente*

\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Jorge Fredericson de M. C. da Silva, IFCe  
*Examinador externo*

\_\_\_\_\_

Dr. Paulo Rodrigo de Moura, ANATEL  
*Examinador externo*

\_\_\_\_\_

## FICHA CATALOGRÁFICA

SOBRINHO, GABRIEL O. E BARROSO, RAFAELA C.

Estudo e Investigação sobre a Tecnologia 5G no Brasil: Uma Revisão Sistemática [Distrito Federal] 2023. xvi, 44 p., 210 x 297 mm (ENE/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Elétrica, 2023).

Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Elétrica

1. 5G

2. Brasil

3. Telecomunicações

4. Revisão Sistemática

I. ENE/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOBRINHO, G O. E BARROSO, R. C. (2023). *Estudo e Investigação sobre a Tecnologia 5G no Brasil: Uma Revisão Sistemática*. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 44 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: GABRIEL DE OLIVEIRA SOBRINHO e RAFAELA COSTA BARROSO

TÍTULO: Estudo e Investigação sobre a Tecnologia 5G no Brasil: Uma Revisão Sistemática .

GRAU: Bacharel em Engenharia Elétrica ANO: 2023

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste trabalho de conclusão de curso e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Do mesmo modo, a Universidade de Brasília tem permissão para divulgar este documento em biblioteca virtual, em formato que permita o acesso via redes de comunicação e a reprodução de cópias, desde que protegida a integridade do conteúdo dessas cópias e proibido o acesso a partes isoladas desse conteúdo. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste documento pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

GABRIEL DE OLIVEIRA SOBRINHO e RAFAELA  
COSTA BARROSO

Depto. de Engenharia Elétrica (ENE) - FT

Universidade de Brasília (UnB)

Campus Darcy Ribeiro

CEP 70919-970 - Brasília - DF - Brasil

## DEDICATÓRIA

Rafaela:

*Dedico este trabalho à Deus e a todos aqueles que me apoiaram e incentivaram ao longo desta jornada acadêmica. Aos meus familiares, amigos e parceiro de vida, cujo apoio incondicional e compreensão foram essenciais durante os desafios e momentos de dedicação. Agradeço por estarem ao meu lado, oferecendo palavras de estímulo e conforto.*

Gabriel:

*Dedico este trabalho à Sara Belchior, da turma 104 da elétrica. Durante todos estes anos, você foi uma inspiração para que eu seguisse na carreira de telecomunicações. Que você descanse em paz!*

"O sucesso é a soma de pequenos esforços repetidos dia após dia."

---

Robert Collier

## **AGRADECIMENTOS**

Rafaela:

Gostaria de expressar minha sincera gratidão aos meus familiares, amigos e professores que me acompanharam e apoiaram ao longo desta jornada desafiadora. Gostaria de agradecer especialmente a Dayane, Allyck, Gabriel e Felipe, por termos convivido juntos os dias de UnB e por terem transformado estes dias em boas lembranças.

Gabriel:

Gostaria de agradecer, primeiramente, à minha família e meus amigos, principalmente a meus pais e ao Marcos Noriyuki, por sempre terem me apoiado nestes árduos anos de faculdade.

Gostaria de agradecer aos meus colegas da Huawei, principalmente à Danyele Barbosa, minha gerente. A inspiração que eu tenho por vocês vai além do profissional!

---

## ABSTRACT

The 5G, the fifth generation of wireless technology, surpasses LTE (4G) in terms of speed, latency, and capacity. With download speeds potentially reaching 1 Gbps or higher, ultra-low latency of 1 millisecond, and support for a massive number of connected devices, 5G is a significant leap forward. It operates across a broader range of frequencies, including millimeter-wave bands, enabling faster connections but requiring more infrastructure. While LTE boasts wider coverage, particularly in rural areas, 5G is poised to revolutionize industries with applications like IoT, augmented reality, virtual reality, and critical communications, although its deployment is still in progress. Its implementation and impacts are being widely explored in academic research. In this context, this work is dedicated to conducting a systematic review of studies on 5G technology in Brazil, with a focus on the telecommunications industry. In order to avoid a laborious task, we will be using techniques and tools that facilitate to perform automated analysis of bibliographic references present in existing studies. This approach enables us to efficiently identify trends, the most active research areas, and key study topics related to 5G in the Brazilian context. Through automated reference analysis, we can gain valuable insights into the most recent contributions and advancements in the implementation of 5G in Brazil's telecommunications industry.

**INDEX TERMS: 5G technology, Telecommunications industry, Brazil, Systematic review, Machine learning, Bibliographic reference analysis, Telecom sector, Research trends, Academic literature, Innovation.**

---

## RESUMO

O 5G, a quinta geração de tecnologia sem fio, supera o LTE (4G) em termos de velocidade, latência e capacidade. Com velocidades de download potencialmente atingindo 1 Gbps ou mais, latência ultra baixa de 1 milissegundo e suporte para um grande número de dispositivos conectados, o 5G representa um avanço significativo. Ele opera em uma faixa mais ampla de frequências, incluindo bandas de ondas milimétricas, permitindo conexões mais rápidas, embora exija mais infraestrutura. Enquanto o LTE possui uma cobertura mais ampla, especialmente em áreas rurais, o 5G está prestes a revolucionar indústrias com aplicativos como IoT, realidade aumentada, realidade virtual e comunicações críticas, embora sua implementação ainda esteja em andamento. Seus impactos e implementação estão sendo amplamente explorados na pesquisa acadêmica. Nesse contexto, este trabalho é dedicado a realizar uma revisão sistemática de estudos sobre a tecnologia 5G no Brasil, com foco na indústria de telecomunicações. Para evitar uma tarefa laboriosa, usaremos técnicas e ferramentas que facilitam a realização de análises automatizadas das referências bibliográficas presentes em estudos existentes. Essa abordagem nos permite identificar eficientemente tendências, as áreas de pesquisa mais ativas e os principais tópicos de estudo relacionados ao 5G no contexto brasileiro. Através da análise automatizada de referências, podemos obter insights valiosos sobre as contribuições mais recentes e os avanços na implementação do 5G na indústria de telecomunicações do Brasil.

**Keywords:** Tecnologia 5G, Indústria de Telecomunicações, Brasil, Revisão Sistemática, Aprendizado de Máquina, Análise de Referências Bibliográficas, Setor de Telecomunicações, Tendências de Pesquisa, Literatura Acadêmica, Inovação.



# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	A EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA DE REDES MÓVEIS	1
1.2	REDES MÓVEIS: 5G	3
1.2.1	TECNOLOGIAS FUNDAMENTAIS	3
1.2.2	TOPOLOGIAS	3
1.2.3	DESAFIOS	3
1.2.4	CONCEITOS CHAVES EM 5G	4
1.3	ANÁLISE ATUAL DA TECNOLOGIA 5G NO BRASIL: ADOÇÃO, COBERTURA E PERSPECTIVAS	4
1.4	CONTRIBUIÇÕES CHAVES	8
1.5	TRABALHOS RELACIONADOS	8
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	9
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>11</b>
2.1	REVISÃO AUTOMATIZADA DA LITERATURA	11
2.1.1	CATEGORIZAÇÃO MANUAL	14
<b>3</b>	<b>APLICAÇÃO DA METODOLOGIA</b>	<b>17</b>
3.1	RESULTADO DA REVISÃO AUTOMATIZADA DA LITERATURA	17
3.1.1	DIVISÃO ARBITRÁRIA DO <i>Cluster</i>	17
3.1.2	DIVISÃO DINÂMICA DO <i>Cluster</i>	17
3.2	ANÁLISE MANUAL DE DADOS	21
3.2.1	DESENVOLVIMENTO DE REDES E INFRAESTRUTURA	28
3.2.2	IoT E INTEGRAÇÃO COM CLOUD	28
3.2.3	ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE REDE	29
3.2.4	APLICAÇÕES ESPECÍFICAS DE 5G	29
3.2.5	GESTÃO DE ESPECTRO E COEXISTÊNCIA	29
3.2.6	<i>Insights</i> INICIAIS	30
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>	<b>31</b>
4.1	RESPOSTAS ÀS RQS	32
4.1.1	RQ1: COMO AS OPERADORAS DE TELECOMUNICAÇÕES PODEM DESENVOLVER E IMPLEMENTAR INFRAESTRUTURAS DE <i>Massive Machine-Type Communications</i> (MMTC) PARA SUPORTAR EFICAZMENTE O CRESCIMENTO DE DISPOSITIVOS IoT NO BRASIL?	32
4.1.2	RQ2: QUAIS SÃO AS TECNOLOGIAS CHAVE E INVESTIMENTOS NECESSÁRIOS PARA SUPORTAR ALTAS TAXAS DE TRANSFERÊNCIA DE DADOS E MAIOR CAPACIDADE EM REDES EMBB, CONSIDERANDO A CRESCENTE DEMANDA POR SERVIÇOS DE <i>streaming</i> E REALIDADE AUMENTADA?	34

4.1.3	RQ3: PARA INVESTIDORES, QUAIS SÃO AS ÁREAS EMERGENTES DENTRO DOS SEG- MENTOS DE MMTC E URLLC QUE APRESENTAM O MAIOR POTENCIAL DE CRESCI- MENTO E INOVAÇÃO NO CONTEXTO DO 5G? .....	37
4.1.4	RQ4: COMO AS PECULIARIDADES DO MERCADO BRASILEIRO, INCLUINDO DESA- FIOS GEOGRÁFICOS E DEMANDAS ESPECÍFICAS DE DIVERSAS REGIÕES, AFETAM A ESTRATÉGIA DE IMPLEMENTAÇÃO DO 5G PELAS OPERADORAS E OUTROS AGENTES? .....	38
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>41</b>
5.1	TRABALHOS FUTUROS .....	41
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>42</b>

## LISTA DE FIGURAS

1.1	Percentual da população com acesso ao 5G.....	5
1.2	Gráfico de números de modelos de celular homologados pela Anatel para o 5G nos últimos anos.	6
1.3	<i>Ranking</i> de fabricantes de celulares com mais modelos homologados para o 5G no Brasil [1]. ....	6
1.4	Número de publicações sobre o 5G em diferentes repositórios. ....	7
2.1	Diagrama da metodologia da revisão literária. ....	12
3.1	Principais áreas de aplicações do 5G no Brasil, com 5 <i>clusters</i> . ....	18
3.2	Principais áreas de aplicações do 5G no Brasil, usando um número de <i>clusters</i> sugerido pelo algoritmo.....	21
4.1	Plataforma Helix para IIoT, extraído de [22]. ....	33
4.2	Antena SWA mecanicamente reconfigurável. de [14]. ....	36
4.3	Coefficiente de reflexão da antena SWA proposta, de [14]. ....	36
4.4	Antena proposta em [15]......	36

## LISTA DE TABELAS

1.1	Evolução das tecnologias móveis.....	2
1.2	Velocidades médias de <i>download</i> e <i>upload</i> para diferentes gerações de tecnologia móvel.....	3
1.3	Artigos sobre 5G nas databases dos repositórios ACM Digital Library, IEEE Xplore, Science-Direct, MDPI e SciELO. ....	7
1.4	Tabela de comparação com trabalhos relacionados. ....	10
2.1	Parâmetros com $K = 5$ .....	13
2.2	Parâmetros com $K$ dinâmico. ....	14
2.3	Processo de transformação e agrupamento de dados.....	15
3.1	<i>Clusters</i> , Palavras-chave Principais, Número de Artigos e <i>Sub-Clusters</i> . ....	19
3.2	<i>Clusters</i> , Palavras-chave Principais, Número de Artigos e <i>Sub-Clusters</i> , um número de <i>clusters</i> sugerido pelo algoritmo. ....	20
3.3	Análise por divisão de áreas. ....	22
3.4	Análise dos 25 artigos. ....	23
4.1	<i>Clusters</i> , descrição, aplicações potenciais, número de artigos.....	31
4.2	Abordagens para o desenvolvimento de mMTC para o IoT.....	34
4.3	Lacunas de estratégias e tecnologias identificadas na RQ1.....	35
4.4	Comparação entre os estudos identificados em desenvolvimento de antenas. ....	37
4.5	Tabela comparativa das tecnologias estudadas. ....	39
4.6	Tabela comparativa das aplicações das tecnologias 5G no Brasil.....	40

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 A EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA DE REDES MÓVEIS

A telefonia celular, uma das tecnologias mais impactantes do século XX, tem redefinido significativamente as interações humanas desde seu surgimento na década de 1980. Transformando a maneira como nos comunicamos, trabalhamos e nos entretemos, a tecnologia móvel tem evoluído ao longo dos anos. Na tabela 1.1 esta evolução é evidenciada.

No desdobramento da telefonia móvel, a primeira geração (1G) inaugurou a cobertura de telefonia por torres, empregando dispositivos semelhantes a rádios de comunicação de Frequência Modulada (FM). Operando com o princípio da comunicação por rádio, esses aparelhos conectavam-se à rede de telefonia fixa, um marco importante na história da comunicação móvel.

Com o advento da segunda geração (2G), a telefonia digital foi introduzida, permitindo taxas eficientes de transmissão de dados, possibilitando o envio de arquivos pequenos, *ringtones* e mensagens de texto. Essas taxas foram alcançadas pela FM, representando um avanço significativo na experiência do usuário e inaugurando a era digital na comunicação móvel.

Por sua vez, a terceira geração (3G) permitiu que os usuários utilizassem dados móveis de maneira comparável à banda larga fixa. As taxas de transmissão foram aprimoradas, possibilitando uma navegação mais fluida, *downloads* e *uploads* de informações.

Cumprir mencionar que este avanço não apenas transformou a interação com dispositivos móveis, mas também impulsionou o surgimento das primeiras lojas de aplicativos, catalisando o desenvolvimento de novos setores na economia digital. Essa evolução contribuiu significativamente para a crescente influência da tecnologia na vida cotidiana e nos negócios.

A quarta geração (4G ou LTE - *Long Term Evolution*) trouxe um aumento expressivo na velocidade, facilitando a transição de serviços do mundo físico para o ambiente virtual. Aplicações notáveis incluem serviços de entrega de alimentos, solicitação de transporte, compartilhamento de vídeos em alta definição e redes sociais.

A velocidade do 4G otimizou a experiência do usuário e impulsionou o desenvolvimento de novos modelos de negócios e inovações em diversos setores. Essa evolução na conectividade contribuiu significativamente para a sociedade digital e a forma como interagimos com a tecnologia diariamente.

O 5G apresenta um potencial notável para impulsionar a economia brasileira, oferecendo velocidades ultrarápidas e baixa latência comparáveis a conexões fixas e superando as capacidades do 4G. Acredita-se que essa tecnologia será um incentivador para inovações, incentivando o desenvolvimento de novas tecnologias e aplicações disruptivas.

A Tabela 1.2 detalha as velocidades médias de *download* e *upload* para diferentes gerações de tecnologia móvel, desde a primeira geração até a quinta, medidas em megabits por segundo (Mbps).

Tabela 1.1: Evolução das tecnologias móveis.

Geração	Técnicas de acesso	Técnicas de transmissão	Taxa de dados	Banda de frequência	Largura de banda	Aplicação	Descrição
1G	FDMA, AMPS	Circuito comutado	2,4 kbps	800 MHz	25 MHz	Voz	Permite chamadas de voz analógicas
2G	GSM, TDMA, CDMA	Circuito comutado	10 kbps	800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz	25 MHz	Voz e dados	Permite chamadas de voz e o envio de mensagens de texto
3G	WCDMA, UMTS, CDMA 2000, HSUPA/HSDPA	Circuito e comutação de pacotes	384 kbps a 5 Mbps	800 MHz, 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz, 2100 MHz	25 MHz	Voz, dados e videochamadas	Permite chamadas de voz, o envio de mensagens de texto, o acesso à internet e o uso de aplicações multimídia
4G	LTEA, OFDMA, SCFDMA, WIMAX	Comutação de pacotes	100 Mbps a 200 Mbps	2,3 GHz, 2,5 GHz e 3,5 GHz inicialmente	100 MHz	Voz, dados, videochamadas, HDTV e jogos online	Permite chamadas de voz, o envio de mensagens de texto, o acesso à internet de alta velocidade, o streaming de vídeo e o jogo online
5G	BDMA, NOMA, FBMC	Comutação de pacotes	10 Gbps a 50 Gbps	1,8 GHz, 2,6 GHz e 30–300 GHz	30–300 GHz	Voz, dados, videochamadas, ultra HD, realidade virtual e aplicações IoT	Permite chamadas de voz, o envio de mensagens de texto, o acesso à internet de ultra alta velocidade, o streaming de vídeo em ultra HD, realidade virtual e IOT

Tabela 1.2: Velocidades médias de *download* e *upload* para diferentes gerações de tecnologia móvel.

Geração	Velocidades médias de <i>download</i> e <i>upload</i> (Mbps).
1G	Download: 1,2 / Upload: 0,3
2G	Download: 14 / Upload: 2,4
3G	Download: 384 / Upload: 56
4G	Download: 150 / Upload: 50
5G	Download: 446,91 / Upload: 33,60

## 1.2 REDES MÓVEIS: 5G

### 1.2.1 Tecnologias Fundamentais

O 5G é um avanço significativo nas comunicações móveis, oferecendo alta velocidade, baixa latência e conexão simultânea de vários dispositivos. Utilizando técnicas como o *beamforming*, direciona o sinal para dispositivos específicos, ampliando a cobertura e capacidade da rede. O *Massive MIMO* aumenta a eficiência ao empregar múltiplas antenas, possibilitando altas taxas de transmissão para vários dispositivos ao mesmo tempo.

Além disso, o 5G incorpora a gestão dinâmica da rede através da virtualização e do *Software-Defined Networking* (SDN), oferecendo flexibilidade e adaptabilidade no gerenciamento das redes. Essas tecnologias fundamentais superam desafios anteriores e abrem caminho para aplicações inovadoras, aproveitando uma infraestrutura de rede mais robusta.

### 1.2.2 Topologias

O 5G introduz diferentes topologias de rede, como *non-standalone* (NSA) e *standalone* (SA), visando maior flexibilidade e eficiência comparado a tecnologias anteriores. No modelo NSA, o 5G se estende das redes LTE existentes, aproveitando parte de sua infraestrutura, mas limitando seu potencial máximo [1]. Em contrapartida, o modelo SA é autônomo, independente das infraestruturas 4G anteriores, proporcionando total capacidade para as funcionalidades específicas do 5G [2].

Além dessas variantes, há diferentes abordagens de topologia no 5G. A centralizada concentra funções de processamento em um ponto central, enquanto a distribuída descentraliza essas funções, reduzindo a latência ao aproximá-las dos usuários finais [3]. Tecnologias como *Cloud RAN* (C-RAN), *small cells*, *Massive MIMO* e *Network Slicing* contribuem para eficiência, capacidade e cobertura da rede, atendendo às demandas variadas de conectividade, velocidade e latência exigidas pelos dispositivos e aplicativos na era do 5G [4, 5]. Essa diversidade é essencial para oferecer serviços de comunicação de alta qualidade e desempenho no ambiente 5G.

### 1.2.3 Desafios

O 5G, apesar de avançar em conectividade e velocidade, enfrenta desafios para sua implementação global. A transição exige grandes investimentos em infraestrutura, como antenas e fibra óptica. No Brasil, o vasto território demanda ainda mais equipamentos, especialmente em áreas remotas e rurais. A aquisição de frequências adequadas é um desafio financeiro e técnico para operadoras locais. A diversidade de regulamentações entre

países precisa ser revisada para atender às novas demandas do 5G. A segurança cibernética é crucial, dada a quantidade massiva de dados transmitidos. Além disso, garantir acessibilidade em áreas remotas é essencial para a inclusão digital. Superar esses desafios requer colaboração entre governos, empresas e comunidades para permitir a expansão ampla do 5G e seus benefícios sociais e econômicos em grande escala.

#### 1.2.4 Conceitos Chaves em 5G

As siglas eMBB (Aprimoramento de Banda Larga Móvel), URLLC (Comunicação Ultrarrápida com Baixa Latência Ultraconfiável), mMTC (Comunicação em Massa para Dispositivos do Tipo Máquina), FWA (Acesso Sem Fio Fixo) e o conceito de Fatiamento e Gerenciamento de Rede são termos-chave no contexto das comunicações móveis e redes 5G. O eMBB refere-se à capacidade de oferecer uma banda larga móvel aprimorada, proporcionando velocidades de dados mais rápidas e maior capacidade de conexão. O URLLC destaca a necessidade de comunicações ultraconfiáveis com latência extremamente baixa, especialmente para aplicações críticas, como veículos autônomos e telessaúde. O mMTC se concentra na conexão de um grande número de dispositivos IoT (Internet das Coisas) à rede 5G. O FWA é uma alternativa às conexões de banda larga fixa tradicionais, usando redes móveis para fornecer acesso à internet em residências e empresas. Por fim, o Fatiamento e Gerenciamento de Rede envolve a divisão da infraestrutura de rede em segmentos virtuais para atender a diferentes necessidades de aplicativos e clientes, permitindo uma gestão mais eficiente e personalizada dos recursos de rede. Esses conceitos desempenham papéis cruciais na evolução das redes de comunicação e na capacidade de atender às diversas demandas dos usuários e das aplicações modernas.

### 1.3 ANÁLISE ATUAL DA TECNOLOGIA 5G NO BRASIL: ADOÇÃO, COBERTURA E PERSPECTIVAS

Em [6], as velocidades de *download* e *upload* das redes móveis no Brasil aumentaram significativamente ao longo das gerações. A primeira geração, lançada na década de 1980, oferecia velocidades de *download* e *upload* de apenas 1,2 Mbps e 0,3 Mbps, respectivamente. A segunda geração, lançada na década de 1990, aumentou essas velocidades para 14 Mbps e 2,4 Mbps, respectivamente. A terceira geração, lançada na década de 2000, aumentou ainda mais as velocidades para 384 Mbps e 56 Mbps, respectivamente. A quarta geração, lançada na década de 2010, aumentou as velocidades para 150 Mbps e 50 Mbps, respectivamente. O 5G, lançado em 2021, representa um salto significativo em termos de velocidade. As velocidades de *download* do 5G no Brasil são, em média, 446,91 Mbps, enquanto as velocidades de *upload* são, em média, 33,60 Mbps.

As redes 5G foram concebidas considerando não apenas os usuários, mas também máquinas e sistemas de automação. Com um número previsto de conexões muito superior às gerações anteriores, surge a capacidade de interligar uma ampla variedade de dispositivos. Isso resultará na criação de um ecossistema propício para o avanço de setores diversos, incluindo a IoT, realidade virtual (VR), realidade aumentada (AR), veículos autônomos, educação, saúde, cidades inteligentes e outros domínios. O 5G, assim, abre caminho para uma era de conectividade mais abrangente e impulsiona a inovação em vários aspectos da sociedade e da indústria.

No ano de 2023, o 5G *standalone*, que é a tecnologia operando em sua máxima potencialidade, celebrou um ano desde sua ativação no Brasil, consolidando-se como uma realidade para a maioria dos brasileiros. Presente em 184 municípios, incluindo todas as capitais, a quinta geração do serviço móvel superou as expectativas estabelecidas no Edital do 5G, lançado em 27 de setembro de 2021 pela Agência Nacional de Telecomunicações



[7].

O normativo definiu os parâmetros para o certame público de outorga das faixas de espectro para o 5G no Brasil, que foi realizado em 4 de novembro de 2021. O certame foi um êxito, com as empresas vencedoras investindo aproximadamente R\$ 50 bilhões no leilão [7].

Conforme o Edital, as operadoras vencedoras dos lotes de 3,5 GHz em escala nacional, de acordo com as diretrizes da Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), deveriam ativar 1.896 estações apenas nas capitais até o segundo semestre do ano passado. Contudo, o número de estações licenciadas nessas áreas já ultrapassou cinco vezes esse valor, totalizando 9.481 estações. Essa densidade, de 6,25 estações para cada 100 mil habitantes, excede a meta estipulada pelo Edital, que era de 1,25. Atualmente, a quantidade de estações licenciadas já supera os compromissos de adensamento definidos para julho de 2024. Em 2023, a Anatel já concedeu autorização a 1.610 municípios para a utilização da faixa de 3,5 GHz em estações de 5G, abrangendo uma população total de 141 milhões de brasileiros, o que representa 66,4% da população nacional [7].

A Figura 1.1 mostra que a penetração do 5G no Brasil é mais elevada nas regiões Sudeste e Sul, onde as operadoras de telecomunicações investiram mais na implantação da tecnologia. A penetração é menor nas regiões Nordeste e Norte, onde a cobertura do 5G ainda está em desenvolvimento [7].

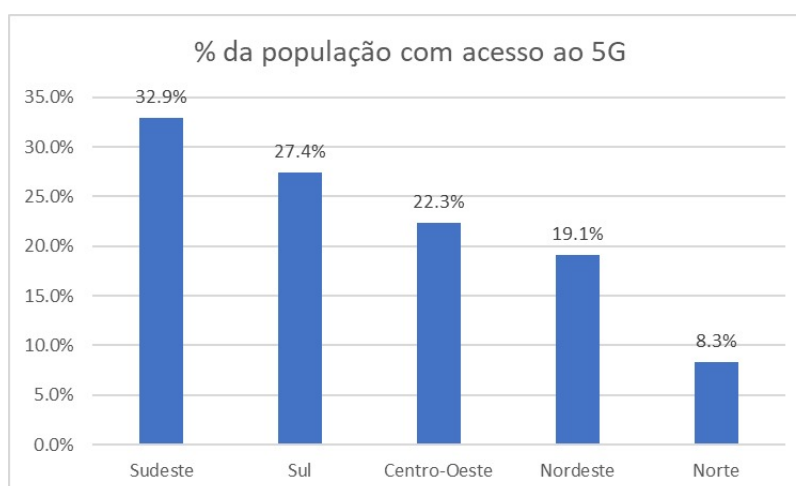


Figura 1.1: Percentual da população com acesso ao 5G.

A democratização do acesso ao 5G tem desempenhado um papel fundamental na expansão significativa da adoção dessa tecnologia inovadora. A plena fruição dos benefícios proporcionados pelo 5G requer não apenas a posse de dispositivos compatíveis com a quinta geração, mas também a subscrição a planos de serviço que incorporem essa avançada infraestrutura de comunicação.

De acordo com a Anatel, gráfico na Figura 1.2 mostra o crescimento no número de modelos de celular homologados para o 5G nos últimos anos. Este crescimento é impulsionado pelo investimento das operadoras no 5G e à resposta dos fabricantes de dispositivos [7]. O *market share* também vem se intensificando nos últimos tempos e diversificados entre as fabricantes de aparelhos móveis, como mostrado na Figura 1.3.

No cenário atual, aproximadamente 10,1 milhões de consumidores no Brasil já usufruem dos avanços do 5G, indicando uma tendência notável de crescimento. Este número reflete não apenas a rápida adoção da tecnologia, mas também evidencia a eficácia do processo de democratização do acesso. A disponibilidade crescente do 5G não só atende à demanda do consumidor, mas também denota o comprometimento dos provedores de serviços de telecomunicações em ampliar a cobertura e tornar essa inovação acessível a um público mais amplo [7].

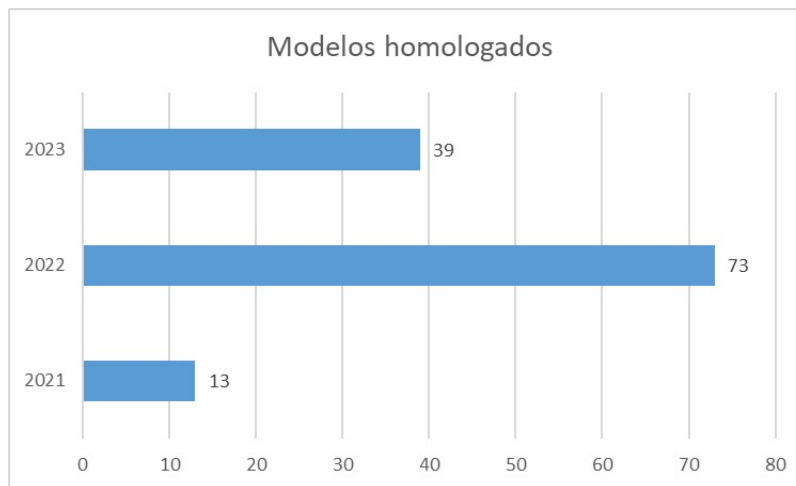


Figura 1.2: Gráfico de números de modelos de celular homologados pela Anatel para o 5G nos últimos anos.

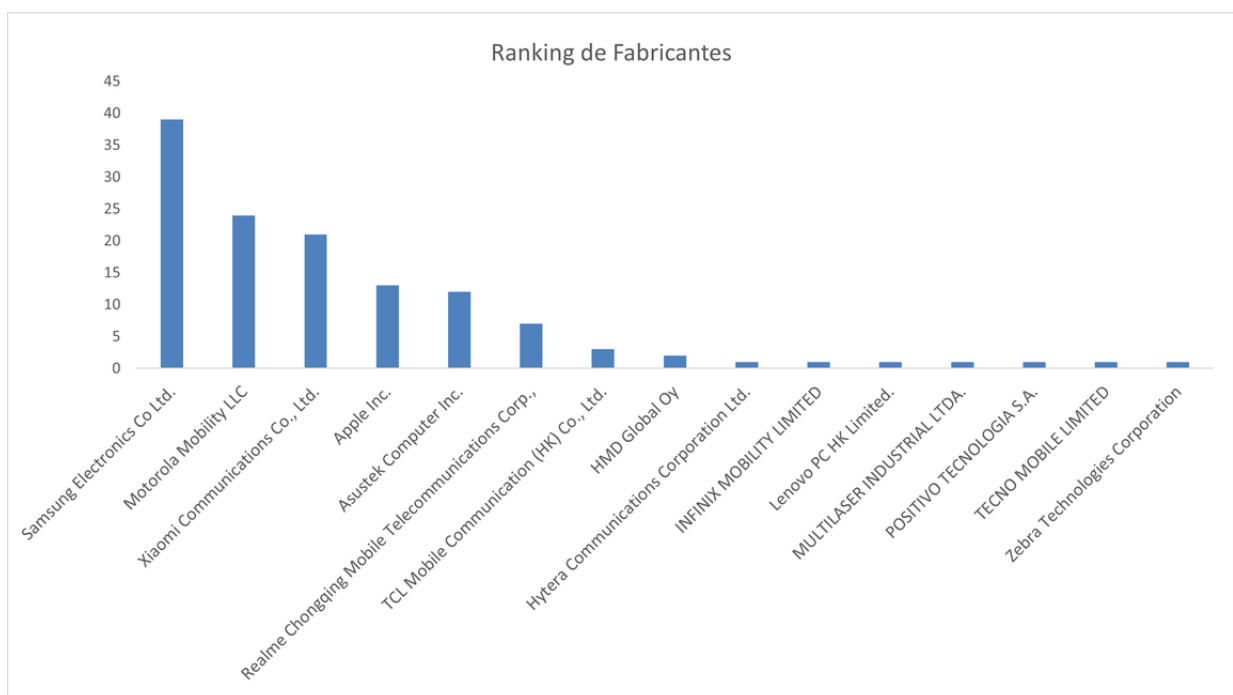


Figura 1.3: Ranking de fabricantes de celulares com mais modelos homologados para o 5G no Brasil [1].

Este movimento em direção à democratização do 5G não apenas impulsiona a rápida adoção da tecnologia, mas também sinaliza uma transformação substancial no cenário da conectividade digital. Os casos de uso a serem desenvolvidos no âmbito das redes 5G explorarão os requisitos dessa tecnologia e podem ser agrupados em três verticais distintas. Na primeira vertical, denominada banda larga móvel avançada, a ênfase estará em proporcionar altas velocidades de *download* e *upload* para atender às crescentes demandas do usuário comum.

A segunda vertical, conhecida como controle de missão crítica, terá como foco fornecer conexão com baixíssima latência e altíssima confiabilidade. Essa vertical é especialmente direcionada para aplicações sensíveis a atrasos e erros, como monitoramento de saúde em tempo real, manufatura automatizada e comunicação entre veículos.

Por fim, a terceira vertical, denominada IOT massiva, estará voltada para atender a uma grande quantidade de dispositivos IoT. Essa vertical proporcionará ampla cobertura e baixo consumo de bateria, impulsionando a internet das coisas a um novo patamar de atendimento e integração. Essas verticais representam a diversidade

de aplicações e benefícios que as redes 5G têm potencial para oferecer em diversos setores.

As redes privadas também poderão colher benefícios da tecnologia 5G. Estas redes de telecomunicação são desenhadas de forma personalizada para cada aplicação, adaptando-se às necessidades específicas de setores como o industrial, *utilities*, agropecuário, negócios, cujos requisitos de rede podem divergir significativamente daqueles atendidos pelas redes de telecomunicações comerciais. Essa flexibilidade proporcionada pelo 5G abre oportunidades para a otimização e customização das comunicações em ambientes específicos, contribuindo para um desempenho mais eficiente e alinhado com as demandas particulares de cada setor.

Neste sentido, também cresce o número de literatura sobre o 5G no Brasil e no mundo. A evolução constante dessa tecnologia tem suscitado um interesse significativo na comunidade acadêmica e científica, resultando em uma expansão considerável no volume de artigos, pesquisas e estudos que exploram os diferentes aspectos e impactos do 5G. Este panorama reflete a importância crescente desse avanço tecnológico, não apenas no cenário brasileiro, mas globalmente, onde pesquisadores buscam compreender e contribuir para o desenvolvimento contínuo dessa infraestrutura.

Tabela 1.3: Artigos sobre 5G nas databases dos repositórios ACM Digital Library, IEEE Xplore, ScienceDirect, MDPI e SciELO.

Ano	ACM Digital Library	IEEE Xplore	Science Direct	MDPI	SciELO	Total
2018	419	5228	3158	5353	11	14169
2019	561	6458	3685	9194	8	19906
2020	746	6460	4875	14035	13	26129
2021	977	7450	5951	20126	14	34518
2022	1086	7595	7070	25859	6	41616
2023	1207	6269	8231	22903	9	38619
<b>TOTAL</b>	<b>4996</b>	<b>39460</b>	<b>32970</b>	<b>97470</b>	<b>61</b>	<b>174957</b>

Fazendo uma busca com a *string* 5G nos principais repositórios de artigos científicos disponíveis, o comportamento sobre publicações é conforme mostra a Tabela 1.3 e a Figura 1.4. Nota-se que o número de artigos sobre 5G nas bases *ACM Digital Library*, *IEEE Xplore*, *ScienceDirect*, *MDPI* e *SciELO* (um repositório brasileiro) tem aumentado progressivamente nos últimos anos.

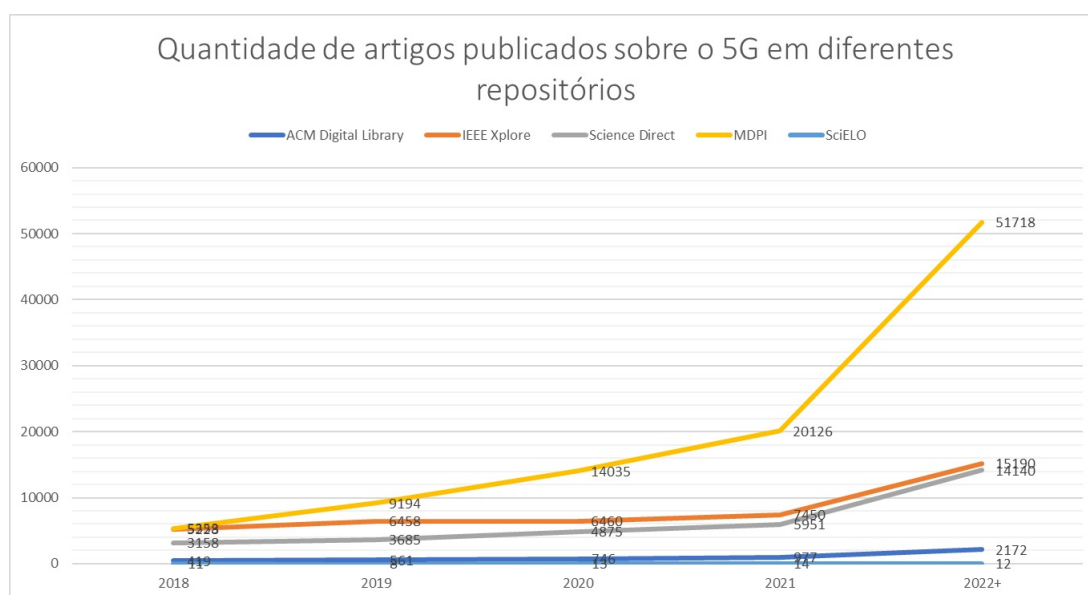


Figura 1.4: Número de publicações sobre o 5G em diferentes repositórios.

Assim, uma revisão literária abrangente sobre o 5G no Brasil emerge como uma ferramenta estratégica para orientar não apenas as decisões de investimento empresarial, mas também as políticas públicas que moldarão o impacto dessa tecnologia na sociedade e nos diversos setores da economia.

## 1.4 CONTRIBUIÇÕES CHAVES

Neste estudo, abordamos a emergente necessidade de discernir a panorama conceitual do 5G no Brasil, uma tecnologia crítica ao avanço socioeconômico e à inovação tecnológica. As contribuições fundamentais deste trabalho residem na concepção e implementação de uma ferramenta de processamento de linguagem natural, utilizando o algoritmo *latent dirichlet allocation* (LDA), para a classificação meticulosa e automatizada de textos pertinentes ao tema do 5G. Este instrumento computacional demonstrou sua capacidade singular de organizar vastos textos em *clusters* temáticos, proporcionando assim uma visão estruturada e quantitativa dos discursos analisados.

Além disso, através de uma revisão sistemática da literatura, consolidamos um banco de dados robusto que serve como uma base para a análise subsequente e o refinamento de informações relacionadas ao 5G. Esta revisão foi meticulosamente aprimorada com o emprego da nossa ferramenta de processamento de linguagem natural, potencializando a precisão e a profundidade da análise textual. O resultado é uma compreensão multifacetada dos principais tópicos de interesse e discussão no Brasil, esclarecendo as tendências atuais e delineando os contornos das futuras diretrizes de pesquisa e desenvolvimento no campo do 5G.

As ramificações deste trabalho são múltiplas e significativas. Proporcionamos uma perspectiva detalhada sobre o estado atual e as potencialidades do 5G no Brasil, com ênfase particular na sua capacidade de suportar uma imensidade de dispositivos e na promessa de velocidades de conexão sem precedentes. Destacamos a IoT como uma das inúmeras inovações habilitadas pelo 5G, sublinhando o seu papel inovador na transformação digital.

Por fim, o presente estudo estabelece um método organizado e sistemático para a análise de literatura, que não somente enriquece o entendimento do 5G no contexto nacional, mas também serve como um modelo replicável para investigações semelhantes em outras matrizes tecnológicas e geográficas.

## 1.5 TRABALHOS RELACIONADOS

No presente trabalho, estabelecemos uma conexão com os estudos anteriores que examinam a infraestrutura do 5G. Este estudo se posiciona como uma expansão lógica e um exame mais detalhado das pesquisas existentes. Os estudos predecessores estabelecem a base sobre a qual nossa pesquisa atual se ergue e se expande. A Tabela 1.4 resume os artigos que também realizam uma revisão literária do 5G no Brasil.

Em [8], o estudo explora o impacto da tecnologia 5G nos aspectos econômicos, legais e sociais globais, e seu papel na Indústria 4.0. Utiliza uma abordagem evolucionária para entender a dinâmica do sistema capitalista, considerando o impacto de inovações tecnológicas como o 5G e a Indústria 4.0. Há ênfase nos aspectos geopolíticos da tecnologia 5G, seu papel na formação de tendências econômicas globais e seu papel central no desenvolvimento da Indústria 4.0. As implicações discutem as amplas implicações do 5G na competitividade global e seu potencial como uma tecnologia de propósito geral (GPT).

Por sua vez, o estudo em [9] conduz uma revisão literária abrangendo artigos científicos, com foco nas tecnologias essenciais para a construção das redes 5G. O trabalho aborda os principais desafios encontrados na implementação das redes 5G e investiga as tecnologias e metodologias necessárias para superá-los. Além disso, o estudo analisa profundamente as questões fundamentais associadas à telefonia móvel 5G, desvendando as complexidades técnicas e operacionais dessa nova geração de redes móveis.

O trabalho mostrado em [10] é realizado através de uma pesquisa bibliográfica focada em artigos acadêmicos, livros e sites sobre a rede 5G. Compreensão de como as frequências e antenas da rede 5G serão utilizadas em centros urbanos.

Por fim, em [11], é apresentada uma compreensão de como as frequências e antenas da rede 5G serão utilizadas em centros urbanos e discute a comunicação celular 5G como tecnologia para aplicações de infraestrutura de medição avançada em *smart grids*. A revisão sistemática da literatura sobre a resposta à demanda e a infraestrutura de medição avançada no contexto das *smart grids* utilizando a tecnologia de comunicação 5G, identifica os desafios que as aplicações impõem e discute como esses desafios podem ser solucionados com o uso da tecnologia de comunicação 5G. A discussão sobre a relevância política, econômica e social do 5G e das *smart grids* em um âmbito mundial é uma implicação chave deste estudo.

Cada um desses trabalhos contribui para a ampliação do conhecimento sobre o 5G, explorando suas capacidades e enfrentando os desafios práticos. O presente estudo expande o diálogo existente, ao oferecer novas perspectivas e aprofundar nosso entendimento por meio de uma pesquisa.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho acadêmico consiste em uma revisão sistemática da literatura centrada nos estudos sobre a tecnologia 5G no contexto brasileiro, com o propósito de proporcionar uma visão abrangente do estado atual do 5G no Brasil e enriquecer a compreensão dessa tecnologia emergente. Utilizando metodologias de *machine learning* para analisar uma ampla gama de referências bibliográficas, o estudo se estrutura em seções que detalham a metodologia adotada (Seção II), apresentam os resultados e análises da pesquisa, explorando as aplicações do 5G no Brasil, suas conexões com o Aprendizado de Máquina, desafios enfrentados e melhorias necessárias, além de analisar técnicas comuns nos estudos brasileiros sobre o 5G (Seção III). Finalmente, na seção IV, resumem-se as principais descobertas, discutindo suas implicações mais amplas e encerrando a pesquisa com uma reflexão abrangente sobre o tema abordado.

Tabela 1.4: Tabela de comparação com trabalhos relacionados.

Aspecto	Este Estudo	[8]	[9]	[10]	[11]
Escopo do Estudo	Análise detalhada da tecnologia 5G, especificamente no contexto brasileiro	Exploração do impacto da tecnologia 5G nos aspectos econômicos, legais e sociais globais, e seu papel na Indústria 4.0	Abordagem das questões principais envolvendo a rede de telefonia móvel 5G	Compreensão de como as frequências e antenas da rede 5G serão utilizadas em centros urbanos	Comunicação celular 5G como tecnologia de comunicação para aplicações de infraestrutura de medição avançada em smart grids
Metodologia	Revisão literária sistemática e automatizada, utilizando técnicas avançadas de processamento de dados como NLP, ML e LDA	Abordagem evolucionária para entender a dinâmica do sistema capitalista, considerando o impacto de inovações tecnológicas como 5G e Indústria 4.0	Revisão da literatura através de artigos científicos, focada em tecnologias necessárias para a estrutura das redes 5G	Pesquisa bibliográfica focada em artigos acadêmicos, livros e sites sobre a rede 5G	Revisão sistemática da literatura sobre a resposta à demanda e a infraestrutura de medição avançada no contexto das smart grids utilizando a tecnologia de comunicação 5G
Principais Descobertas	Identificação de dois principais clusters de pesquisa em tecnologia 5G no Brasil, com análise detalhada das características de cada cluster	Ênfase nos aspectos geopolíticos da tecnologia 5G, seu papel na formação de tendências econômicas globais e seu papel central no desenvolvimento da Indústria 4.0	Desafios na implementação das redes 5G e tecnologias e técnicas para resolver essas questões	Compreensão da capacidade de penetração da rede 5G e desafios enfrentados na implementação do 5G	Identificação de desafios que as aplicações de resposta à demanda e infraestrutura de medição avançada impõem nas smart grids e como esses desafios podem ser solucionados com o uso da tecnologia de comunicação 5G
Implicações	Insights sobre aspectos técnicos e arquitetônicos específicos das redes 5G, bem como a agrupação de vários tópicos de pesquisa	Discussão das implicações mais amplas do 5G na competitividade global, liderança tecnológica e seu potencial como uma Tecnologia de Propósito Geral (GPT)	Análise de tecnologias e desafios na implementação das Redes 5G	Compreensão dos desafios e limitações técnicas, físicas e econômicas na implementação do 5G	Discussão sobre a relevância política, econômica e social do 5G e das smart grids em um âmbito mundial

## 2 METODOLOGIA

Neste estudo, a revisão literária de diversos artigos é inicialmente realizada por meio de uma solução automatizada, que coleta dados e sintetiza informações a partir dos resultados obtidos. Posteriormente, propõe-se uma nova abordagem metodológica com o objetivo de refinar ainda mais os resultados, possibilitando uma categorização mais eficiente e um estudo mais aprofundado sobre as pesquisas realizadas em 5G, especialmente no contexto brasileiro. A revisão sistemática da literatura assume uma abordagem investigativa e, como tal, é orientada por Questões de Pesquisa (RQs). As RQs, descritas abaixo, ajudam a aprofundar a compreensão dos diferentes aspectos do 5G no Brasil, proporcionando uma análise abrangente que combina considerações técnicas, aplicativas e contextuais.

- RQ1: Como as operadoras de telecomunicações podem desenvolver e implementar infraestruturas de *massive machine-type communications* (mMTC) para suportar de maneira eficaz o crescimento de dispositivos IoT no Brasil?
- RQ2: Quais são as tecnologias chave e investimentos necessários para suportar altas taxas de transferência de dados e maior capacidade em redes *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB), considerando a crescente demanda por serviços de transmissão e realidade aumentada no Brasil?
- RQ3: Para investidores, quais são as áreas emergentes dentro dos segmentos de mMTC e *Ultra-Reliable Low Latency Communications*(uRLLC) que apresentam o maior potencial de crescimento e inovação no contexto do 5G no Brasil?
- RQ4: Como as peculiaridades do mercado brasileiro, incluindo desafios geográficos e demandas específicas de diversas regiões, afetam a estratégia de implementação do 5G pelas operadoras e outros agentes?

Dado que os repositórios eletrônicos representam fontes primárias de conhecimento científico, as bases de dados do *IEEE Xplore*, *Scopus* e *Web of Science* foram selecionadas para garantir uma cobertura abrangente de pesquisas relevantes para o contexto brasileiro. Na primeira parte da pesquisa, a *string* de busca utilizada foi 5G e "Brazil", buscando essas palavras-chave em todo o metadado dos repositórios. Já na segunda parte da pesquisa, houve um refinamento metodológico ao restringir a *string* de busca para incluir apenas o título, palavras-chave e resumo. Essa restrição adicional foi implementada para identificar com mais assertividade os artigos que contêm ambas as palavras-chave 5G e "Brazil", proporcionando um retorno mais criterioso de resultados. A Figura 2.1 resume a metodologia de busca utilizada no trabalho.

Os filtros utilizados também levaram em conta o intervalo de publicação mencionado, abrangendo de 2018 a 2023, e resultaram na escolha de publicações em revistas científicas e conferências.

### 2.1 REVISÃO AUTOMATIZADA DA LITERATURA

A revisão automatizada da literatura desempenha um papel crucial na eficiente coleta de informações relevantes para este estudo, sendo este um processo intrinsecamente matemático. A automação desse procedimento oferece uma abordagem sistemática e abrangente na identificação de trabalhos relacionados ao 5G, otimizando

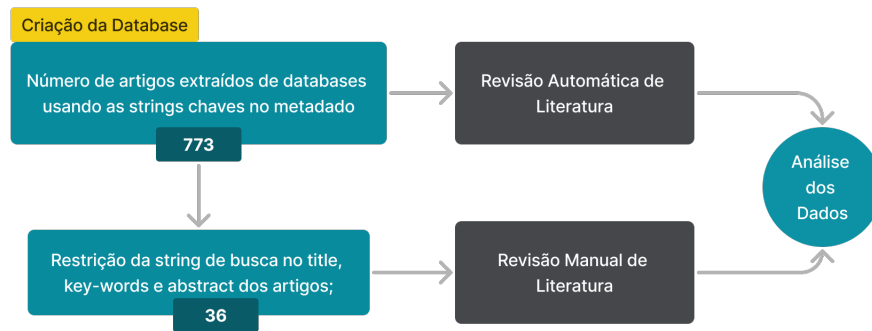


Figura 2.1: Diagrama da metodologia da revisão literária.

não apenas o tempo dedicado à revisão, mas também garantindo a inclusão de uma ampla gama de perspectivas e descobertas científicas relevantes. A Tabela 2.3 resume a operação abordada nessa parte.

Diversas técnicas matemáticas são empregadas na automatização da revisão de literatura. O Processamento de Linguagem Natural (NLP), por exemplo, é utilizado para identificar e extrair informações relevantes de textos científicos. O aprendizado de máquina entra em cena para treinar modelos capazes de identificar trabalhos relevantes com base em critérios específicos, como tópico, metodologia ou resultados.

Um exemplo notável desse enfoque é apresentado em [12], que propõe um método baseado no modelo de tópicos LDA (Latent Dirichlet Allocation) para revisão literária automatizada. Esse método identifica efetivamente tópicos relevantes em artigos científicos sobre engenharia, mesmo que esses tópicos não sejam explicitamente mencionados nos títulos ou resumos dos artigos. Da mesma forma, [13] descreve um método utilizando o modelo LDA para identificar tópicos relevantes em artigos científicos sobre pesquisa médica.

Neste trabalho, adotamos uma abordagem semelhante, utilizando o LDA para agrupar os 773 artigos encontrados nos repositórios. A primeira camada envolve o pré-processamento textual, onde cada resumo é submetido a operações matriciais de transformação. Essas operações, como a tokenização e lematização, são intrinsecamente representadas por manipulações matriciais, simplificando a estrutura semântica dos documentos.

Na camada LDA, adotamos uma abordagem semelhante, utilizando o LDA para agrupar os 773 artigos encontrados nos repositórios. Este modelo probabilístico atribui tópicos aos documentos e palavras aos tópicos. A inferência é realizada através de técnicas como a Cadeia de Markov Monte Carlo (MCMC), que ajusta os parâmetros do modelo para maximizar a probabilidade dos dados observados.

A primeira camada de pré-processamento textual continua sendo essencial, preparando os documentos para a modelagem LDA. Os resumos passam por uma representação matricial, onde cada termo é ponderado pela frequência e relevância nos documentos. A aplicação do modelo LDA resulta na atribuição de probabilidades de pertencimento a cada tópico para cada documento. Essas probabilidades são utilizadas como características na construção de vetores representativos. A saída desta camada alimenta diretamente a segunda camada do processo, onde a matriz de TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency) é computada para a posterior



aplicação do algoritmo *K-Means*.

Na segunda camada, os resumos processados são convertidos em uma matriz TF-IDF, onde cada termo e documento são representados por elementos em uma matriz. A operação de multiplicação matricial envolvida na computação do TF-IDF reflete a ponderação dos termos pela sua raridade nos documentos, gerando uma matriz numérica que captura a relevância semântica.

A terceira camada incorpora a escolha estratégica do número de *clusters* ( $k$ ) para o algoritmo *K-Means*. Essa decisão inicial é formalizada através da definição de  $k = 5$ , uma constante que serve como dimensão para a criação de centros de *cluster* e associação de resumos a esses centros, uma operação matricial fundamental.

A quarta camada introduz uma abordagem mais dinâmica para a escolha de  $k$ , baseada em algoritmos que otimizam métricas como o coeficiente de silhueta e o índice Davies–Bouldin. Essas métricas, sendo funções matemáticas, guiam a escolha adaptativa de  $k$ , ajustando-se à topologia dos dados.

A quinta camada reflete a operação de reconfiguração da matriz *K-Means* com o  $k$  dinâmico obtido. Essa reconfiguração é realizada através da realocação de resumos para novos centros de *cluster*, uma operação que envolve novamente manipulações matriciais. A interpretação semântica dos *clusters* é derivada de palavras-chave ponderadas pela importância matricial.

Dentro de cada *cluster* principal gerado, o algoritmo de *K-Means* é aplicado novamente agrupando os dados em outros novos *clusters*, aqui chamados de *subclusters*, encontrando os dados mais semelhantes entre si. A sexta camada aprofunda a análise, identificando subgrupos (micro-clusters) dentro de cada *cluster* principal. Novamente, a escolha dinâmica de  $k$  é aplicada, refletindo a complexidade semântica dos tópicos dentro de cada *cluster*, uma operação que se traduz em novas subdivisões matriciais.

A sétima camada aborda a visualização dos *clusters* por meio da análise de componentes principais (PCA), uma técnica matricial que reduz a dimensionalidade do espaço de características. A representação bidimensional resultante é gerada por uma combinação linear de componentes principais, permitindo uma interpretação visual dos padrões presentes nas matrizes de resumos.

Resumidamente, essa análise conjuga conceitos matriciais, essencialmente enraizados na álgebra linear, para extrair, agrupar e interpretar informações semânticas presentes nos resumos sobre o 5G no Brasil. A abordagem matricial, combinada com a flexibilidade proporcionada pela escolha dinâmica de  $k$ , oferece uma visão mais profunda e matematicamente fundamentada das tendências e áreas de pesquisa ativas nesse domínio específico. Os parâmetros computacionais utilizados para a o processamento com  $K$  arbitrário e igual a 5 estão na Tabela 2.1 e os dados computacionais para a etapa seguinte estão na Tabela 2.2.

Tabela 2.1: Parâmetros com  $K = 5$ .

Section	Parameter	Value
Feature Extraction	max_features	2000
Topic Modeling (LDA)	n_topics	5
Clustering (K-Means)	n_clusters	5
	n_init	10
Further Clusterization	n_micro_clusters	5

Cada texto é inicialmente representado por um vetor  $v_i$  em um espaço de características. Para isso, técnicas como TF-IDF são aplicadas, atribuindo a cada termo no texto um valor ponderado que reflete sua importância no contexto do corpo do trabalho.

Tabela 2.2: Parâmetros com K dinâmico.

Section	Parameter	Value
Feature Extraction	max_features	2000
Topic Modeling (LDA)	n_topics	dinâmico
Clustering (K-Means)	n_clusters	dinâmico
	n_init	10
Further Clusterization	n_micro_clusters	dinâmico

$$\mathbf{v}_i = [w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in}] \quad (2.1)$$

O algoritmo *K-Means* começa com a escolha aleatória de  $k$  centroides, que também são vetores no mesmo espaço de características. Esses centroides são denotados por  $\mathbf{C}_j$ , onde  $j$  varia de 1 a  $k$ .

Cada vetor  $\mathbf{v}_i$  é atribuído ao *cluster* cujo centroide  $\mathbf{C}_j$  é o mais próximo, com a proximidade medida pela distância euclidiana ou outras métricas.

$$\text{Cluster}(\mathbf{v}_i) = \arg \min_j \|\mathbf{v}_i - \mathbf{C}_j\| \quad (2.2)$$

Os centroides são então atualizados com base nos vetores atribuídos a cada *cluster*. A atualização é realizada pela média dos vetores dos textos no *cluster*.

$$\mathbf{C}_j = \frac{1}{\text{Número de Textos no Cluster}_j} \sum_{\mathbf{v}_i \in \text{Cluster}_j} \mathbf{v}_i \quad (2.3)$$

Os passos de atribuição aos *clusters* e atualização dos centroides são repetidos iterativamente até que a convergência seja alcançada. A convergência é atingida quando os centroides não se movem significativamente entre iterações.

$$\text{Convergência quando } \|\text{Centroides}_{\text{atual}} - \text{Centroides}_{\text{anterior}}\| \leq \epsilon \quad (2.4)$$

Este processo matemático de representação vetorial, atribuição a *clusters* e atualização de centroides permite uma análise quantitativa e estruturada dos textos, facilitando a identificação de padrões semânticos e a formação de agrupamentos coesos. O algoritmo *K-Means*, ao utilizar essa abordagem matemática, proporciona uma metodologia robusta para a tarefa de agrupamento textual.

A geração de *clusters* é realizada usando uma abordagem hierárquica. Para cada um dos dois conjuntos gerados, aplicou-se o mesmo procedimento para encontrar os demais conjuntos de resumo que são mais semelhantes entre si, dentro de cada *cluster* principal.

### 2.1.1 Categorização Manual

Na continuidade da pesquisa, a segunda fase foi caracterizada por uma meticulosa metodologia de busca, marcada pela aplicação de filtros mais específicos e uma abordagem mais restritiva. Neste estágio, a *string* de busca foi estrategicamente limitada a campos específicos, abrangendo títulos, palavras-chave e resumos dos

Tabela 2.3: Processo de transformação e agrupamento de dados.

<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>	<b>Técnica(s) Utilizada(s)</b>	<b>Métrica(s) de Avaliação</b>	<b>Resultados</b>
Pré-processamento	Limpeza e preparação de texto para análise	Remoção de stop words, tokenização, lematização	-	-
Extração de Características	Transformação de texto em representações numéricas	TF-IDF	-	Frequências e pesos dos termos para cada documento
Modelagem de Tópicos	Identificação de tópicos latentes nos dados	Alocação Latente de Dirichlet (LDA)	Perplexidade, pontuação de coerência	Lista de tópicos com palavras-chave e probabilidades para cada documento
Agrupamento	Agrupamento de documentos com base em suas similaridades	Agrupamento K-means	Pontuação de silhueta, índice Davies–Bouldin	Atribuições de cluster para cada documento
Microagrupamento	Subdivisão adicional dos clusters principais	Agrupamento K-means	Pontuação de silhueta, índice Davies–Bouldin	Atribuições de cluster para documentos dentro de cada cluster principal
Visualização	Exploração das relações entre clusters	Análise de Componentes Principais (PCA)	Gráfico de dispersão com cores ou símbolos representando clusters	Representação visual da distribuição dos clusters
Análise de Palavras-chave	Identificação de termos-chave associados a cada cluster	Análise de frequência de termos	Principais palavras-chave para cada cluster e micro-cluster	Compreensão do foco temático de cada cluster

artigos analisados, diferente da primeira parte da pesquisa que usava todo metadado. Essa refinada abordagem foi concebida com o objetivo preciso de aprimorar a precisão da seleção, concentrando-se na identificação assertiva de publicações que incorporam simultaneamente as palavras-chave 5G e "Brasil".

Ao restringir a busca a elementos cruciais como títulos e resumos, a pesquisa atingiu uma maior sensibilidade na identificação de trabalhos diretamente relacionados à interseção entre o contexto brasileiro e a tecnologia 5G. Essa estratégia mais criteriosa eleva a confiabilidade e relevância dos resultados, proporcionando uma base sólida para a análise subsequente.

Essa fase de refinamento na metodologia de busca contribuiu para uma revisão literária mais assertiva e aprofundada, permitindo a identificação de estudos mais alinhados aos objetivos específicos da pesquisa e, conseqüentemente, proporcionando entendimentos mais substanciais sobre o panorama das pesquisas em 5G no cenário brasileiro.

Para a análise individual de cada artigo, avançamos além da avaliação dos títulos e resumos, investigando também a introdução, todos os subtítulos principais, os resultados e a conclusão. Este método possibilitou uma avaliação precisa para verificar a relevância dos estudos em relação à correlação entre os temas 5G e "Brasil". Isso se tornou necessário, pois, mesmo que essas palavras estivessem presentes nos resumos, poderia ocorrer que sua relevância no estudo fosse mínima.

De 36 artigos que selecionamos inicialmente para a análise, apenas 24 passaram no critério de busca e seleção para o estudo: artigos contendo o tema de 5G aplicado no contexto brasileiro no qual o estudo seja focado no Brasil.

## 3 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

### 3.1 RESULTADO DA REVISÃO AUTOMATIZADA DA LITERATURA

#### 3.1.1 Divisão Arbitrária do *Cluster*

Este capítulo apresenta os resultados da análise dos 773 artigos sobre 5G no Brasil, identificando inicialmente cinco *clusters* principais de tópicos de pesquisa e subgrupos dentro de cada *cluster*. Cada *cluster* é examinado quanto à sua composição temática, identificando padrões e tendências específicas emergentes nos subgrupos. As palavras-chave mais representativas de cada *cluster* são ponderadas pelo peso matricial atribuído durante a aplicação do LDA, destacando assim as características distintivas de cada agrupamento. O resultado do processamento considerando um número de *cluster* arbitrariamente escolhido é igual a 5, está mostrado na Figura 3.1 e na Tabela 3.1. A lógica de nomeação dos *clusters* formados pelo algoritmo é baseada na análise dos termos mais frequentes em cada *cluster*. Os termos são analisados usando técnicas de processamento de linguagem natural, como a análise de frequência e a análise de co-ocorrência.

A escolha do número de *clusters* é uma tarefa complexa, pois deve equilibrar dois objetivos conflitantes: capturar as diferentes tendências e padrões de pesquisa, sem criar *clusters* artificiais ou com muito poucas observações. Para superar esse desafio, o próximo tópico apresenta uma abordagem que utiliza um número dinâmico de *clusters*.

#### 3.1.2 Divisão Dinâmica do *Cluster*

Neste capítulo, apresentamos os resultados da análise dos resumos de artigos sobre 5G no Brasil usando a abordagem de  $k$  dinâmico. Essa seleção dinâmica do número de *clusters* leva em consideração o coeficiente de silhueta e o índice Davies-Bouldin.

Os resultados da seleção dinâmica de  $k$  mostraram que o número ideal de *clusters* a serem utilizados na análise dos 773 artigos é 2, conforme mostra a Figura 3.2. Para cada um dos dois *clusters* principais, o código também identifica os pontos de dados que pertencem a esse *cluster*, e é capaz de optar pelo melhor número de *sub-clusters* de acordo com as métricas utilizadas.

A análise mostra que 46.3% dos artigos abordam aspectos técnicos da comunicação sem fio, como técnicas de *beamforming* para melhorar a potência e eficiência do sinal, modelagem e medição de canais 5G para otimizar o desempenho da rede, projeto e desenvolvimento de antenas 5G para aumentar a cobertura e capacidade da rede, esquemas de código e transmissão para melhorar a confiabilidade da comunicação e comunicação óptica 5G para aumentar a velocidade e capacidade da rede. Detalhamento do resultado está apresentado na Tabela 3.2.

Ainda, 53.7% dos artigos abordam aspectos de arquitetura e serviços oferecidos pelas redes 5G, como redes veiculares e segurança 5G, gerenciamento, tráfego e otimização da rede, computação de borda e serviços em nuvem para 5G, IoT e aplicações inteligentes em redes 5G e *slicing* de rede e virtualização 5G.

Em comparação com a análise usando  $k$  fixo (5), a análise usando  $k$  dinâmico identificou um número menor de *clusters*. Isso sugere que os dados analisados são mais bem representados por dois *clusters* principais, que refletem os dois principais focos de pesquisa sobre o 5G.



Figura 3.1: Principais áreas de aplicações do 5G no Brasil, com 5 *clusters*.

Tabela 3.1: *Clusters*, Palavras-chave Principais, Número de Artigos e *Sub-Clusters*.

Cluster	Palavras-chave Principais	Número de Artigos	Sub-Clusters
eMBB	ghz, antenna, channel, matrix, beam, phase, power, design, frequency, band	143	1. Beamforming (48), 2. Controle de Fase e Potência (17), 3. Frequência e Propagação (39), 4. Design de Antena (16), 5. Características da Matriz (23)
uRLLC	power, performance, channel, proposed, scheme, transmission, access, multiple, GFDM, interference	109	1. Codificação e Informação (7), 2. Técnicas de Acesso Múltiplo (33), 3. Eficiência Energética (36), 4. Comunicações Tipo Máquina Massivas (mMTC) (10), 5. Multiplexação por Divisão de Frequência Generalizada (GFDM) (23)
FWA	optical, fronthaul, radio, 5G, RF, signal, fiber, compression, GHz, link	73	1. Sobrevivência de Rede (6), 2. Rádio sobre Fibra (RoF) (19), 3. Redes Ópticas (16), 4. Compressão de Fronthaul (19), 5. Integração RF e Óptica (13)
mMTC	network, 5G, networks, data, communication, mobile, new, systems, traffic, IoT	324	1. Comunicações Veiculares (45), 2. Tecnologias e Pesquisa Sem Fio (71), 3. Espectro e Latência (77), 4. IoT e Segurança (52), 5. Dados e Aprendizado de Máquina em Redes (79)
Network Slicing and Management	network, service, slice, management, slices, edge, requirements, services, resource	124	1. Gerenciamento e Orquestração de Rede (32), 2. Computação na Borda (23), 3. Virtualização de Funções de Rede (NFV) (12), 4. Requisitos e Virtualização de Serviços (46), 5. Integração de eMBB, uRLLC e Serviços (11)

Tabela 3.2: *Clusters*, Palavras-chave Principais, Número de Artigos e *Sub-Clusters*, um número de *clusters* sugerido pelo algoritmo.

Cluster	Palavras-chave Principais	Número de Artigos	Sub-Clusters
Engenharia de Canais e Antenas 5G	channel, antenna, ghz, system, frequency, power, signal, 5g, proposed, performance	357	Micro-Cluster 0: Técnicas de Beamforming para Melhoria de Potência e Eficiência (94); Micro-Cluster 1: Modelagem e Medição de Canais 5G (74); Micro-Cluster 2: Projeto e Desenvolvimento de Antenas 5G (66); Micro-Cluster 3: Esquemas de Código e Transmissão para Melhoria do Canal (101); Micro-Cluster 4: Comunicação Óptica 5G (22)
Rede e Serviços 5G	rede, serviço, 5g, dado, recurso, comunicação, tecnologia, aplicação, slice, usuário	416	Micro-Cluster 0: Redes Veiculares e Segurança 5G (55); Micro-Cluster 1: Gerenciamento, Tráfego e Otimização da Rede (98); Micro-Cluster 2: Computação de Borda e Serviços em Nuvem para 5G (114); Micro-Cluster 3: IoT e Aplicações Inteligentes em Redes 5G (97); Micro-Cluster 4: Slicing de Rede e Virtualização 5G (52)



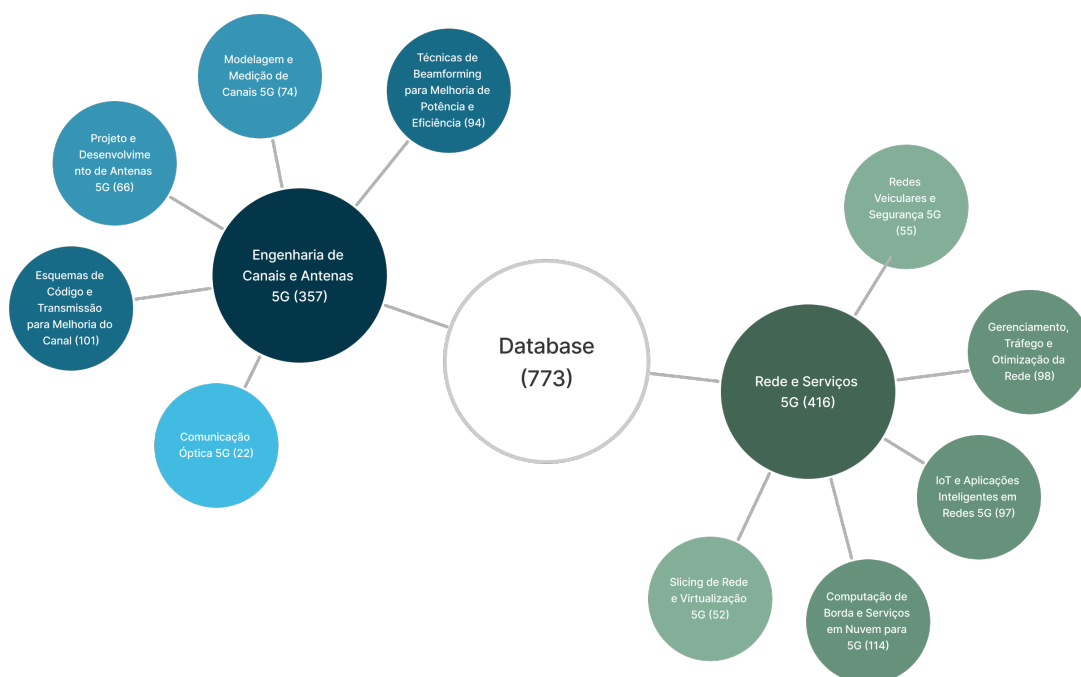


Figura 3.2: Principais áreas de aplicações do 5G no Brasil, usando um número de *clusters* sugerido pelo algoritmo.

### 3.2 ANÁLISE MANUAL DE DADOS

Após refinar a busca manual nos repositórios de periódicos e conferências, foram identificados 25 artigos que foram considerados relevantes para prosseguirmos com a análise manual. Na análise dos 25 artigos, observa-se uma diversificação temática significativa, refletindo a natureza multifacetada da tecnologia 5G.

Com o intuito de facilitar a análise e a apresentação dos dados obtidos nesta etapa de revisão manual, os artigos foram manualmente classificados entre cinco grandes áreas: Desenvolvimento de Redes e Infraestrutura, IoT e Integração com *Cloud*, Aplicações Específicas de 5G, Gestão de Espectro e Coexistência, e Análise e Simulação de Rede. Uma Tabela com as análises pertinentes está mostrada nas Tabelas 3.3, que mapeia as tendências observadas e os desafios por área, e a Tabela 3.4, que analisa todos os 25 artigos lidos na etapa de revisão manual. As conclusões deste estudo bem como os dos demais estão no capítulo 4, na sessão de análise dos resultados.

Tabela 3.3: Análise por divisão de áreas.

Área do 5G	Quantidade de Artigos	de Referências	Tendências Observadas	Principais Desafios
Desenvolvimento de Redes e Infraestrutura	8	[14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21]	Inovação em antenas e tecnologia de transmissão; foco em frequências milimétricas e infraestrutura de rede	Complexidade e custos na produção; necessidade de suporte a altas frequências
IoT e Integração com <i>Cloud</i>	5	[22, 23, 24, 25, 26]	Crescimento do IoT e integração com a nuvem; simulação e avaliação de desempenho	Padronização e desenvolvimento de tecnologias conectivas; integração eficaz com a nuvem
Aplicações Específicas de 5G	6	[27, 28, 29, 30, 31, 32]	Exploração de 5G em agricultura, transmissão de TV e áreas remotas	Implementação prática e desenvolvimento de modelos de negócios viáveis
Gestão de Espectro e Coexistência	3	[33, 34, 35]	Gestão de espectro e estudos de coexistência entre diferentes tecnologias de comunicação	Necessidade de testes em campo e análise de impacto em diferentes regiões
Análise e Simulação de Rede	3	[36, 37, 38]	Ferramentas e técnicas para análise e simulação de redes 5G	Desenvolvimento de algoritmos precisos e ferramentas eficazes para simulação e análise de rede

Tabela 3.4: Análise dos 25 artigos.

<b>Artigo</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Principais Resultados</b>	<b>Relevância</b>	<b>Conceitos Técnicos do 5G</b>
[14]	Visão geral do desenvolvimento de antenas 5G	Revisão bibliográfica	Desafios e oportunidades no desenvolvimento de antenas 5G	Relevante para desafios de infraestrutura 5G no Brasil	Frequências mais altas, complexidade de antena
[15]	Explicar antenas multibanda para 5G	Análise técnica	Benefícios e desafios das antenas multibanda	Importante para dispositivos 5G e suas diversas aplicações	Antenas multibanda, diversidade de bandas de frequência
[16]	Demonstrar a viabilidade de soluções 5G usando NFV em áreas carentes	Experimentação e análise de casos	Flexibilidade e escalabilidade das soluções NFV	Viabilidade para superar desafios de conectividade em populações carentes	Virtualização de Funções de Rede (NFV), VANTs
[17]	Revisar status atual e desafios do 5G no agronegócio	Análise de literatura	Potenciais e obstáculos do 5G na agricultura	Transformação potencial do agronegócio, importante para economias como a do Brasil	Agricultura de precisão, monitoramento remoto
[18]	Desenvolver simulador para arquiteturas Cloud-Fog RAN em 5G	Desenvolvimento de simulador	Eficiência do simulador 5GPy para análise de latência e consumo de energia	Útil para pesquisa e desenvolvimento de redes 5G mais eficientes	Arquiteturas Cloud-Fog RAN

**Tabela 3.4 – Continuação da Página Anterior**

<b>Artigo</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Principais Resultados</b>	<b>Relevância</b>	<b>Conceitos Técnicos do 5G</b>
[19]	Modelar canal de 10 GHz em ambientes internos	Medições de campo	Comportamento do canal em 10 GHz para 5G	Crucial para implementação eficiente de redes 5G internas	Propagação de ondas milimétricas em ambientes internos
[20]	Integrar IIoT com a nuvem em ambiente urbano	Implementação de plataforma	Eficiência na coleta e processamento de dados IoT	Importante para desenvolvimento de cidades inteligentes e indústrias conectadas	Plataforma para conectar IIoT com nuvem em ambiente urbano
[21]	Explorar convergência de redes ópticas e sem fio	Experimentos e simulação	Eficiência da convergência óptica-sem fio	Relevante para superar desafios de conectividade, especialmente em áreas remotas	SDN, virtualização, computação em nuvem
[22]	Inferir requisitos de fatias de rede a partir de descrições de serviço	Processamento de linguagem natural	Eficiência na criação de fatias de rede em nuvem	Simplifica a gestão de redes em ambientes de nuvem	Processamento de linguagem natural para inferência de requisitos
[24]	Utilizar redes FTTH para implementação de 5G	Comparação de cenários	Viabilidade técnica e econômica do uso de FTTH para 5G	Importante para expansão rápida e econômica do 5G no Brasil	Implementação de 5G usando infraestrutura FTTH

**Tabela 3.4 – Continuação da Página Anterior**

<b>Artigo</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Principais Resultados</b>	<b>Relevância</b>	<b>Conceitos Técnicos do 5G</b>
[25]	Avaliar tecnologias IoT para 5G no Brasil	Revisão bibliográfica e análise de casos	Identificação de tecnologias IoT para cidades inteligentes e agronegócio	Potencial transformador para setores econômicos no Brasil	LPWA, RFID, sensores inteligentes
[26]	Explorar o potencial do 5G em áreas remotas	Estudo de casos e análise de modelos	Desafios e modelos de negócio viáveis para 5G em áreas remotas	Contribui para o desenvolvimento econômico e inclusão social no Brasil	Parcerias público-privadas, esquemas de microfinança
[27]	Propor arquitetura de rede móvel para áreas remotas	Revisão bibliográfica	Arquitetura baseada em ondas milimétricas e espectro subutilizado	Reduzir lacuna digital em áreas remotas, como no Brasil	Ondas milimétricas, espectro subutilizado, computação distribuída
[28]	Investigar tecnologias de fronthaul para redes 5G	Revisão sistemática	Vantagens de tecnologias de fronthaul baseadas em microondas e WDM-PON	Relevante para implantação de redes 5G em áreas rurais e remotas	Tecnologias de fronthaul baseadas em microondas e WDM-PON
[29]	Abordar pesquisa e testbeds 5G no Brasil	Revisão bibliográfica e estudo de casos	Estabelecimento de vários testbeds 5G e áreas de pesquisa	Avanço tecnológico e aplicações inovadoras em diversos setores no Brasil	OpenRAN, IoT, Robótica

**Tabela 3.4 – Continuação da Página Anterior**

<b>Artigo</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Principais Resultados</b>	<b>Relevância</b>	<b>Conceitos Técnicos do 5G</b>
[30]	Caracterizar Path Loss e Delay Spread em 26 GHz mmWave	Método de traçado de raios	Insights sobre propagação de ondas milimétricas em ambiente urbano	Importante para o desenvolvimento de redes 5G em ambientes urbanos	Método de traçado de raios, características de mmWave
[31]	Investigar tecnologia de fitas ópticas flexíveis para IoT e 5G	Análise técnica	Vantagens como alta capacidade e fácil instalação	Potencial para otimizar redes de IoT e 5G	Cabos de fitas ópticas flexíveis
[32]	Aplicar técnica de equação parabólica em ambiente urbano	Modelagem computacional	Previsão precisa da cobertura de rede	Importante para planejamento de rede em cidades complexas	Técnica de equação parabólica, modelagem de propagação de ondas
[33]	Modelar propagação de rádio para macrocélula em frequências Sub-6 GHz	Medições de campo	Eficiência do modelo específico do local	Contribui para planejamento de rede mais eficiente em áreas urbanas	Modelagem específica do local para Sub-6 GHz
[35]	Desenvolver modelo de negócios para 5G em áreas rurais	Modelagem de otimização	Viabilidade econômica de drones e macrocélulas para 5G rural	Importante para expansão do 5G em áreas rurais, como no Brasil	Uso de drones, macrocélulas
[37]	Estudar coexistência entre DTT e LTE	Simulações computacionais	Possibilidade técnica de coexistência DTT-LTE	Impacto na gestão do espectro e serviços de telecomunicação	Coexistência de DTT e LTE, técnicas de filtragem

**Tabela 3.4 – Continuação da Página Anterior**

<b>Artigo</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Principais Resultados</b>	<b>Relevância</b>	<b>Conceitos Técnicos do 5G</b>
[38]	Analisar convergência de transmissão e banda larga em 5G	Análise comparativa	Insights sobre integração de broadcasting e broadband	Importante para o futuro da transmissão de mídia e comunicação	Integração de broadcasting e broadband
[39]	Introduzir técnica de análise gráfica para transmissão multiponto	Desenvolvimento de ferramenta gráfica	Visualização simplificada de transmissão multiponto	Útil para análise e planejamento de sistemas de transmissão	Técnica de análise gráfica, transmissão multiponto
[40]	Entregar serviços de TV via transmissão 5G	Análise técnica	Comparação de padrões para serviços de TV via 5G	Relevante para o desenvolvimento de sistemas de transmissão 5G para TV	Padrões ATSC 3.0, DVB-I, TV 3.0

### 3.2.1 Desenvolvimento de Redes e Infraestrutura

Os resultados da análise mostram a necessidade de pesquisa contínua e desenvolvimento em várias áreas-chave para garantir o sucesso da implantação do 5G no Brasil e abordar as especificidades do país, como sua geografia diversificada e a demanda por conectividade em diferentes cenários. Essas áreas incluem o desenvolvimento de antenas eficientes para frequências mais altas, a capacidade de antenas operarem em múltiplas bandas de frequência, tecnologias de *fronthaul* inovadoras para expandir a cobertura em áreas remotas, o desenvolvimento de tecnologias de fibra óptica para uma infraestrutura de comunicação eficiente, a investigação sobre a propagação de ondas milimétricas para diversas configurações geográficas, a integração de redes ópticas e sem fio para impulsionar a conectividade e o estudo da propagação do sinal 5G em ambientes internos para enfrentar os desafios de conectividade em ambientes urbanos densos.

O artigo [14] aborda a evolução de antenas para redes 5G, enfrentando desafios das frequências elevadas. Este estudo contribui para o entendimento sobre antenas 5G e indica a necessidade de investigações futuras para a aplicação efetiva em zonas urbanas e rurais. Em [15], discute-se antenas capazes de operar em múltiplas bandas de frequência. O artigo destaca a adaptabilidade como um fator importante no contexto brasileiro, oferecendo insights técnicos e enfatizando a necessidade de mais pesquisas para aprimorar o design de antenas multibanda.

O estudo [19] foca na propagação de sinais 5G em ambientes internos, abordando os desafios em áreas urbanas densas. O artigo traz informações para a implementação de redes 5G em espaços internos e aponta para a necessidade de estudos adicionais em modelagem de canais e estratégias de redução de interferências. A pesquisa em [21] analisa a integração de redes ópticas e sem fio, crucial para a infraestrutura 5G. O estudo fornece perspectivas sobre a implementação dessa convergência de redes e sugere a necessidade de mais investigações sobre sua eficácia e viabilidade.

O trabalho em [28] investiga tecnologias de *fronthaul* para a eficiência da rede 5G, destacando a expansão da cobertura em áreas remotas como um desafio no Brasil. O artigo sugere a necessidade de mais pesquisas em implementações práticas e soluções custo-efetivas. No artigo [30], examina-se a propagação de ondas milimétricas, um aspecto importante para o sucesso do 5G. O estudo apresenta informações sobre a gestão de redes 5G e ressalta a necessidade de pesquisas adicionais para otimizar a propagação do sinal.

Por fim, o artigo [31] trata do desenvolvimento de tecnologias de fibra óptica para aprimorar a rede 5G. O estudo oferece uma análise de como essa tecnologia pode ser aplicada na prática, indicando direções para futura pesquisa e desenvolvimento.

### 3.2.2 IoT e Integração com Cloud

Nesta categoria, com a representação de cinco artigos, destaca-se o interesse crescente na integração da IoT com soluções baseadas em nuvem. Os desafios identificados concentram-se na padronização e no desenvolvimento de tecnologias eficientes para integrar dispositivos IoT em redes 5G.

O artigo [16] foca na utilização da Virtualização de Funções de Rede (NFV) para implementar soluções 5G em regiões carentes, com relevância para o contexto brasileiro, onde a distribuição igualitária de tecnologias de comunicação é um desafio. Este estudo destaca como a NFV pode auxiliar na expansão da cobertura 5G, salientando a necessidade de mais pesquisas sobre implementação e segurança.

Em [18], é apresentado um simulador baseado no SimPy para avaliar arquiteturas Cloud-Fog RAN em



redes 5G. Este artigo fornece uma ferramenta útil para testar e otimizar redes 5G, contribuindo com novas ideias sobre simulação e modelagem de redes e a importância de ferramentas de simulação precisas. O estudo em [20] explora a integração da IoT industrial com soluções baseadas em nuvem. Este trabalho destaca a gestão de dados industriais e urbanos de maneira integrada, propondo um modelo eficiente de IoT aplicável em cenários brasileiros.

Por fim, [25] aborda a aplicação de tecnologias IoT no contexto do 5G no Brasil. Explorando tecnologias como LPWA e RFID, o estudo analisa o potencial das aplicações 5G na transformação de infraestruturas urbanas e industriais, oferecendo uma nova perspectiva sobre a integração IoT-5G e suas implicações práticas.

### **3.2.3 Análise e Simulação de Rede**

Com 3 artigos selecionados, esta área destaca a necessidade de ferramentas e técnicas avançadas para análise e simulação de redes 5G. Os desafios se concentram no desenvolvimento de algoritmos precisos e ferramentas eficazes para simulação e análise de rede.

Em [39], é demonstrada uma técnica de análise gráfica para sistemas de transmissão multiponto. Este estudo é relevante para o Brasil, oferecendo uma ferramenta visual para análise e planejamento de rede. O artigo contribui para o entendimento da transmissão de dados e sugere a necessidade de mais pesquisas em técnicas de visualização.

### **3.2.4 Aplicações Específicas de 5G**

Com seis artigos, vemos um foco em como o 5G pode ser aplicado em setores como agricultura, transmissão de TV e áreas remotas. Os desafios principais giram em torno da implementação prática e do desenvolvimento de modelos de negócios economicamente viáveis. No artigo [40], a pesquisa concentra-se na entrega de serviços de TV via transmissão 5G. Esse estudo é significativo para o Brasil, onde a tecnologia de transmissão avançada pode transformar a indústria de entretenimento e informação. Ele oferece um novo entendimento sobre os padrões de transmissão e suas aplicações práticas.

O artigo [41] aborda o potencial do 5G em áreas remotas, enfocando modelos de negócios viáveis. Este estudo é crucial para o Brasil, considerando seu vasto território e áreas remotas. O artigo oferece insights sobre como o 5G pode ser utilizado para superar a exclusão digital e impulsionar o desenvolvimento nessas regiões. Em [42], é explorado como a tecnologia 5G pode revolucionar o setor agrícola, destacando aplicações como monitoramento remoto e automação agrícola. O estudo é particularmente pertinente para o Brasil, um dos maiores players agrícolas do mundo, sugerindo como o 5G pode aumentar a eficiência e sustentabilidade no setor.

### **3.2.5 Gestão de Espectro e Coexistência**

Esta categoria, com 3 artigos, enfatiza a importância da gestão eficiente do espectro e a coexistência de diferentes tecnologias de comunicação. Os desafios incluem a necessidade de testes em campo e análises de impacto em diferentes regiões. O estudo [43], por exemplo, investiga a coexistência de serviços DTT e LTE, crucial para a eficiência do espectro. Essa pesquisa é importante para o Brasil, onde a gestão eficiente do espectro é fundamental para a expansão da rede 5G. O artigo sugere estratégias para minimizar interferências e otimizar o uso do espectro.

### 3.2.6 *Insights* Iniciais

No desenvolvimento de redes e infraestrutura, incluindo *fronthaul* e antenas, observa-se um foco robusto em inovações tecnológicas destinadas a otimizar a transmissão de sinal e a cobertura, especialmente em frequências milimétricas. Apesar do avanço significativo, os desafios residem na complexidade crescente e nos custos elevados associados à produção de antenas sofisticadas e à necessidade de infraestrutura compatível.

Na esfera de IoT e integração com a nuvem, os estudos destacam o impulso do 5G na viabilização de aplicações IoT avançadas em ambientes urbanos e industriais. Contudo, a padronização e o desenvolvimento de tecnologias capazes de integrar eficientemente os dispositivos IoT às redes 5G permanecem como desafios prementes.

Para aplicações específicas do 5G, como na agricultura e transmissão de TV, os artigos ressaltam o potencial disruptivo do 5G em diversos setores. No entanto, a implementação prática e o estabelecimento de modelos de negócios viáveis são desafios cruciais que ainda precisam ser superados. Na gestão do espectro e coexistência, os estudos abordam estratégias para a alocação e utilização eficiente do espectro, destacando a necessidade de soluções para a compatibilidade e minimização de interferências entre diferentes sistemas e serviços.

Por fim, na análise e simulação de redes, a pesquisa se concentra no desenvolvimento de modelos e ferramentas para simular e analisar as redes 5G. Aqui, o desafio é criar modelos que reflitam com precisão as complexidades das redes 5G.

Em suma, enquanto os avanços tecnológicos no domínio do 5G são notáveis e promissores, a transição para redes 5G totalmente operacionais e eficientes ainda enfrenta obstáculos significativos, incluindo questões de complexidade técnica, custos de implementação, necessidade de padronização e desenvolvimento de novas soluções para gestão de espectro e simulação de redes. A superação desses desafios será crucial para o pleno aproveitamento do potencial transformador do 5G em diversos setores e aplicações.

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A *clusterização* dos textos foi realizada com base em 5 tópicos. Os resultados dos *clusters* sobre o tema 5G no Brasil revelam uma distribuição significativa de focos de pesquisa e desenvolvimento. O *cluster* de *massive machine-type communications* lidera com 324 artigos, indicando uma atenção substancial da comunidade acadêmica para a concepção e pesquisa de conexões simultâneas na rede 5G. Em segundo lugar, o *cluster* *enhanced mobile broadband* com 143 artigos destaca a importância atribuída à melhoria da banda larga móvel, evidenciando o comprometimento com o aprimoramento das capacidades de conectividade. O *cluster* *network slicing and management*, com 124 artigos, ressalta a ênfase na gestão eficiente e na segmentação de redes, enquanto o *cluster* *ultra-reliable and low latency communications* com 109 artigos sugere uma atenção especial às soluções de conexão de alta confiabilidade e baixa latência. Por fim, o *cluster* *fixed wireless access* com 73 artigos reflete o crescente interesse em soluções avançadas para conexão sem fio em ambientes domésticos ou comerciais. Essa diversidade de *clusters* demonstra a abrangência e a complexidade das pesquisas relacionadas ao 5G no contexto brasileiro. A Tabela 4.1 mostra a descrição, área de aplicação potencial e o número de artigo referentes.

Tabela 4.1: *Clusters*, descrição, aplicações potenciais, número de artigos.

Cluster	Descrição	Aplicações Potenciais	Número de Artigos
mMTC	Focado em comunicações em massa entre máquinas, crucial para IoT	Cidades inteligentes, agricultura de precisão, automação industrial	324
eMBB	Melhoria da experiência de conectividade móvel	Expansão e aprimoramento das redes de banda larga móvel	143
Gerenciamento e Fatiamento de Rede	Gestão eficiente e segmentação de redes	Otimização e adaptação de infraestruturas de rede para diferentes serviços	124
uRLLC	Comunicações ultra-confiáveis e de baixa latência	Cirurgias remotas, controle de máquinas em tempo real	109
FWA	Acesso sem fio fixo	Conexão sem fio em ambientes domésticos e comerciais	73

Com base nos *clusters* identificados sobre o tema 5G no Brasil, algumas conclusões e possíveis tendências podem ser inferidas. A predominância do *cluster* mMTC sugere um forte comprometimento da comunidade acadêmica brasileira com o desenvolvimento teórico e prático do 5G. Isso pode indicar uma tendência contínua de investimento em pesquisa sobre a capacidade de conexões simultâneas na rede 5G, com potenciais contribuições para o avanço global das novas tecnologias. Este *cluster* é crucial para suportar a implantação de infraestruturas IoT no Brasil. Com a ascensão do 5G, espera-se um aumento exponencial na quantidade de dispositivos conectados, demandando uma infraestrutura robusta capaz de suportar a comunicação em massa entre máquinas. O desenvolvimento de mMTC no Brasil é fundamental para impulsionar aplicações IoT em

áreas como cidades inteligentes, agricultura de precisão e automação industrial.

A análise dos *clusters* na pesquisa revelou deficiências no panorama atual dos estudos sobre o 5G no Brasil. Embora haja uma concentração nas pesquisas que abordam as infraestruturas e tecnologias do 5G, existe uma lacuna em estudos que explorem a fundo as aplicações e os benefícios dessa tecnologia emergente, como a integração com a computação em nuvem, que é pouco explorada.

Além disso, a importância atribuída ao *cluster* eMBB reflete a busca por melhorias na experiência de conectividade móvel no país, indicando uma tendência de expansão e aprimoramento das redes de banda larga móvel no Brasil, o que foi evidenciado pelo leilão do 5G em julho de 2021. O *cluster* de fatiamento e gerenciamento de rede, com 124 artigos, destaca a atenção à gestão eficiente e segmentação de redes, indicando uma possível tendência em direção à otimização e adaptação das infraestruturas de rede para atender a demandas específicas de diferentes serviços e aplicativos, contribuindo para a flexibilidade e eficácia das redes 5G no país. A presença significativa do *cluster* uRLLC sugere uma priorização de temas cruciais, como a confiabilidade da rede e a baixa latência, fundamentais para atividades como cirurgias remotas e controle de máquinas em tempo real, onde qualquer atraso na transmissão de dados pode ser crítico.

Por fim, os resultados apontam para uma predominância de estudos sobre tecnologias e infraestrutura, seguidos por pesquisas sobre aplicações e serviços. A representação visual dos *clusters* ilustra os principais tópicos de pesquisa e sua inter-relação, enquanto uma Tabela detalhada fornece informações específicas de cada *cluster*, servindo como guia para pesquisadores e profissionais da área. As conclusões destacam questões relevantes para estudos futuros, como compreender os principais desafios regulatórios e identificar aplicações estratégicas do 5G no cenário brasileiro.

## 4.1 RESPOSTAS ÀS RQS

### 4.1.1 RQ1: Como as operadoras de telecomunicações podem desenvolver e implementar infraestruturas de *Massive Machine-Type Communications* (mMTC) para suportar eficazmente o crescimento de dispositivos IoT no Brasil?

Para desenvolver e implementar infraestruturas de mMTC que suportem eficazmente o crescimento de dispositivos IoT no Brasil, os agentes de telecomunicações, como operadoras e pesquisadores, podem se basear em estudos como o [16], que se concentra na utilização da tecnologia NFV. Além disso, a integração da IoT industrial com soluções baseadas na nuvem, discutida em [20], oferece um modelo para gerenciar dispositivos IoT em diferentes cenários brasileiros. A tabela 4.2 resume as abordagens e técnicas-chave para o desenvolvimento de mMTC para o IoT.

O estudo [16] destaca a NFV como uma ferramenta chave para expandir a cobertura 5G em áreas carentes, o que pode ser extrapolado para suportar uma vasta rede de dispositivos IoT. A pesquisa demonstra que a técnica de NFV pode ser utilizada para melhorar a escalabilidade e a flexibilidade da infraestrutura de rede, permitindo uma gestão mais eficiente dos recursos e a rápida implantação de serviços novos ou atualizados. Especificamente, a NFV pode ajudar a gerenciar a grande quantidade de dispositivos IoT e o tráfego de dados resultante, o que é fundamental para redes mMTC.

A técnica empregada em NFV consiste na conversão de funções de rede tradicionalmente baseadas em hardware em instâncias virtualizadas baseadas em software, proporcionando maior flexibilidade e agilidade na gestão dessas funções. A otimização de recursos ocorre pela alocação eficiente dos recursos de hardware físico

entre múltiplas funções de rede virtuais, reduzindo custos e suportando a escalabilidade necessária para o crescimento da IoT. A orquestração de serviços automatiza o provisionamento, dimensionamento e gerenciamento de serviços IoT. A segmentação de rede cria segmentos virtuais personalizados para diferentes aplicativos IoT, garantindo conectividade confiável. A implantação da NFV na borda da rede reduz a latência e melhora o processamento para aplicativos IoT em tempo real. Medidas de segurança e isolamento protegem dispositivos e dados IoT, enquanto o dimensionamento dinâmico acomoda variações de carga. A personalização permite adaptar funções de rede às necessidades específicas de aplicativos mMTC.

Por meio da virtualização, operadores podem personalizar e configurar facilmente as funções de rede de acordo com os requisitos precisos de cada aplicativo mMTC. Essa flexibilidade permite ajustar parâmetros de desempenho, dimensionamento e recursos de forma dinâmica, garantindo que a infraestrutura de rede possa ser otimizada para suportar eficazmente os diversos cenários e requisitos dos dispositivos IoT em constante evolução. Isso resulta em uma capacidade de adaptação ágil e eficiente que atende às demandas em constante mudança do ambiente mMTC.

O artigo [20] apresenta a plataforma *Helix Multi-layered* para o *Industrial Internet of Things* (IIoT), como mostrado na Figura 4.1. A plataforma é projetada para distribuir *federated brokers* (corretores federados) através de camadas de nuvem, névoa e borda, proporcionando escalabilidade e interoperabilidade para o IIoT.

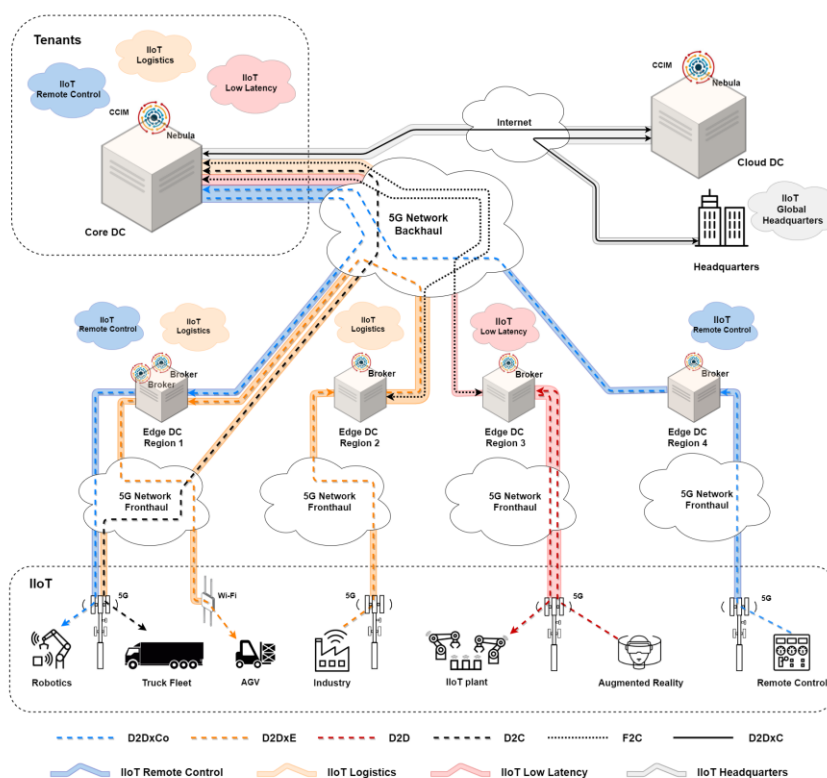


Figura 4.1: Plataforma Helix para IIoT, extraído de [22].

Os corretores federados são elementos de software cruciais para facilitar a comunicação entre dispositivos na IoT. Eles desempenham um papel fundamental na coleta de dados de diferentes dispositivos IoT e no encaminhamento desses dados para os destinos apropriados. O termo "federados" sugere que esses corretores podem ser distribuídos em várias camadas da infraestrutura de IoT, tornando possível uma comunicação eficaz em todas as partes da rede.

A infraestrutura de IoT é frequentemente dividida em camadas, que incluem a nuvem (*cloud*), a névoa (*fog*)

e a borda (*edge*), cada uma com suas responsabilidades específicas. A plataforma *Helix* adota a estratégia de distribuir corretores federados em todas essas camadas, permitindo assim a escalabilidade da plataforma para lidar com o aumento do número de dispositivos IoT. Além disso, essa abordagem promove a interoperabilidade, garantindo que dispositivos IoT de diferentes fabricantes e com protocolos diversos possam se comunicar de maneira harmoniosa em toda a infraestrutura de IoT.

O estudo em [20] destaca vários modos de operação da plataforma *Helix* no contexto de cidades inteligentes e aplicações IIoT, como controle remoto, sensoriamento remoto, gestão de frotas logísticas, plantas industriais automatizadas e realidade aumentada. A implementação dessa ferramenta em um ambiente real demonstra sua viabilidade para cidades inteligentes e aplicações semelhantes, validando seu uso como plataforma de *back-end* adequada para aplicações IIoT. A arquitetura é também aplicável a outras verticais de IoT, como IoMT (*Internet of Medical Things*) e ITS (*Intelligent Transportation Systems*), onde requisitos de URLLC e mMTC são essenciais.

Tabela 4.2: Abordagens para o desenvolvimento de mMTC para o IoT.

Abordagem/Técnica	Referência	Vantagens
NFV para Expansão 5G	[16]	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Melhora escalabilidade e flexibilidade da rede 5G.</li> <li>- Gerenciamento eficiente de recursos.</li> <li>- Implantação rápida de serviços novos ou atualizados.</li> <li>- Suporte a grande quantidade de dispositivos IoT e tráfego de dados.</li> </ul>
Helix para IIoT	[20]	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distribui corretores federados em várias camadas da infraestrutura IoT.</li> <li>- Escalabilidade para lidar com o aumento do número de dispositivos IoT.</li> <li>- Promove interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes e protocolos.</li> <li>- Aplicável a diversas verticais de IoT, incluindo IoMT e ITS.</li> </ul>

No entanto, foi identificada uma ausência de estudos literários e desenvolvimento em áreas-chave para o suporte eficaz de dispositivos IoT no Brasil. As estratégias e tecnologias identificadas na Tabela 4.3 não são amplamente discutidas na literatura existente, sugerindo uma necessidade de mais pesquisas e desenvolvimento.

#### 4.1.2 RQ2: Quais são as tecnologias chave e investimentos necessários para suportar altas taxas de transferência de dados e maior capacidade em redes eMBB, considerando a crescente demanda por serviços de *streaming* e realidade aumentada?

Para suportar altas taxas de transferência de dados e maior capacidade em redes eMBB, considerando a demanda por serviços de transmissão e realidade aumentada no Brasil, as tecnologias chave incluem o desenvolvimento de antenas eficientes para frequências mais altas, enfoque em [14], e a capacidade de antenas operarem em múltiplas bandas de frequência, conforme pode-se ser visto em [15].

O desenvolvimento de antenas eficientes e adaptáveis, como discutido em dois estudos mencionados, é crucial para superar desafios impostos por frequências mais elevadas e manter a qualidade do serviço, mesmo com a alta densidade de conexões. Essas tecnologias permitem melhorar a cobertura em ambientes com obstáculos

Tabela 4.3: Lacunas de estratégias e tecnologias identificadas na RQ1.

Tecnologia	Descrição	Vantagens
Expansão da Infraestrutura 5G com Massive MIMO	Implementação de tecnologias 5G NR com capacidade Massive MIMO para aumentar a densidade de conexões e a eficiência espectral	Maior capacidade de conexão simultânea, ideal para áreas densamente povoadas e ambientes urbanos
Implementação de Redes LPWAN	Uso de tecnologias de Low Power Wide Area Network, como NB-IoT e LoRaWAN, para comunicação de longo alcance e baixo consumo de energia.	Eficiência energética e cobertura ampla, adequadas para áreas rurais e remotas
Integração de Edge Computing	Processamento de dados próximo aos dispositivos IoT para reduzir a latência e melhorar a eficiência do processamento de dados	Redução da latência, aprimorando a resposta em tempo real para aplicações IoT.

ou condições de propagação desafiadoras, e podem ser personalizadas para atender às necessidades específicas de uma rede 5G. O desenvolvimento em capacidade de direcionamento de sinais e técnicas de formação de feixe permitem que as antenas direcionem os sinais de forma precisa para os dispositivos, aumentando a eficiência da transmissão, com um consumo de energia eficiente, que se adapte ao tráfego de rede.

Em [14], é apresentada uma visão geral do desenvolvimento de antenas para redes 5G, e em [15], o enfoque é concentrado no design de uma antena *microstrip* multibanda para uso em *smartphones*, que inclui suporte para a tecnologia 5G, bem como outras tecnologias móveis como GPS, WLAN, 3G, 4G e GSM. Uma Tabela comparativa entre os dois estudos é apresentada na Tabela 4.4.

Em [14], abordagem é sobre antenas *slot waveguide arrays* (SWAs), mostrada na Figura 4.2. Essas antenas oferecem diversas vantagens, tornando-as uma escolha atraente para diversas aplicações como radares, comunicações e sensoriamento remoto. A cavidade de guia de onda confina as ondas eletromagnéticas, resultando em menor radiação traseira e maior eficiência de radiação frontal. Comparadas a antenas dipolos simples, as SWAs oferecem maior ganho, concentrando a energia irradiada em uma direção específica. O design da guia de onda minimiza a perda de energia do sinal ao passar pela antena. As SWAs podem ser facilmente configuradas para operar em diversas bandas de frequência e padrões de radiação ajustando o tamanho e o espaçamento das ranhuras. Essas antenas podem ser fabricadas a partir de materiais planos, como metais e compósitos, facilitando a produção em massa e reduzindo custos. O modelo de antena SWA proposto fornece duas larguras de banda, como mostrado na Figura 4.3, a primeira de 26,36% de 24,7 a 32,2 GHz; a segunda de 9,78% de 35,5 a 39,15 GHz, e fornece um ganho de 12,6 e 15,6 dBi para 28 e 38 GHz, respectivamente [14].

Em [15], os autores propõem uma antena, mostrada na Figura 4.4, que pode ser usada para suportar todas as bandas do 5G, o que é importante para garantir a interoperabilidade entre redes 5G de diferentes operadoras.

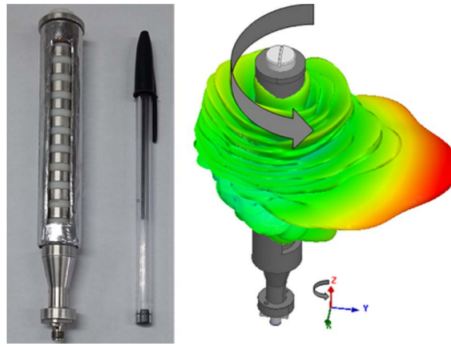


Figura 4.2: Antena SWA mecanicamente reconfigurável. de [14].

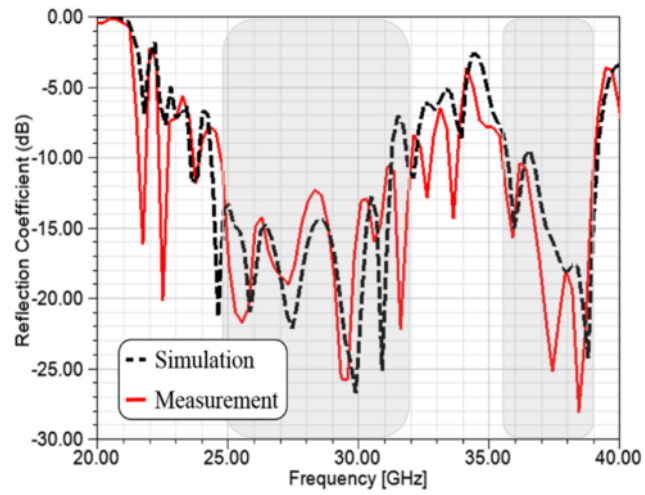


Figura 4.3: Coeficiente de reflexão da antena SWA proposta, de [14].

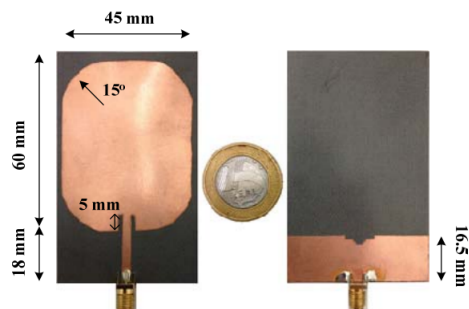


Figura 4.4: Antena proposta em [15].



Tabela 4.4: Comparação entre os estudos identificados em desenvolvimento de antenas.

Características	[14]	[15]
Tipo de Antena	Slotted Waveguide Array (SWAA)	Ultra-Wideband Microstrip Antenna
Foco Principal	Desenvolvimento de uma antena SWAA omnidirecional de alto ganho baseada em um guia de onda circular para aplicações de ondas milimétricas.	Desenvolvimento de uma antena microstrip multibanda para smartphones com suporte a múltiplas tecnologias.
Aplicações	Aplicações de ondas milimétricas em espaços como shoppings, teatros, centros de convenções e estádios.	Aplicações móveis como GPS, WLAN, 3G, 4G e GSM, além da tecnologia 5G.
Vantagens da Antena	Alto ganho, polarização linear, baixa polarização cruzada, design simples, baixa perda, capacidade de manuseio de potência.	Baixo custo, controle de radiação eficiente, espessura fina, popular em dispositivos móveis como smartphones.
Desempenho e Especificações	Banda de frequência de 7,7% de 26,85 a 29 GHz, ganho medido de 12,7 dBi em 28 GHz.	Largura de banda de 1.5 GHz ou mais, adequada para múltiplas frequências de telecomunicações móveis.
Tecnologia Proposta	Antena SWAA baseada em um guia de onda circular com slots.	Antena microstrip ultra-wideband com uma única camada radiante para múltiplas frequências.
Metodologia de Design	Ênfase em um design circular para garantir simetria e omnidirecionalidade.	Design focado em uma antena fina e de baixo custo adequada para integração em smartphones.
Implicações Práticas	Potencial para cobertura omnidirecional 5G em grandes espaços internos.	Adequação para a próxima geração de smartphones com suporte a várias tecnologias de comunicação sem fio.

#### 4.1.3 RQ3: Para investidores, quais são as áreas emergentes dentro dos segmentos de mMTC e uRLLC que apresentam o maior potencial de crescimento e inovação no contexto do 5G?

Para investidores, áreas emergentes dentro dos segmentos de mMTC e uRLLC que apresentam potencial de crescimento e inovação incluem a implementação de tecnologias de *fronthaul* inovadoras, como a estudada em [28], para melhorar a eficiência da rede 5G em áreas remotas, e o desenvolvimento de soluções para a propagação de ondas milimétricas em diferentes configurações geográficas, objeto de estudo em [30], o que é de suma importância para o êxito do 5G em um país com a diversidade geográfica do Brasil. As áreas-chaves encontradas nos artigos de referência são dispositivos RF assistidos por fótons, rede óptica sem fio multibanda 5G, arquitetura Rede Óptica Passiva por Multiplexação por Divisão de Comprimento de Onda (WDM-PON) autossustentável para *fronthaul* 5G e simulação de traçado de raios 3D para análise de sinal de faixa *mmWave*. A Tabela 4.5 fornece das tecnologias abordadas nos dois artigos, mostrando como elas se alinham com os requisitos de mMTC e uRLLC, bem como os desafios enfrentados em cada estudo.

O estudo apresentado em [28] discute o uso de fótons de micro-ondas e tecnologias de WDM-PON no contexto dos sistemas móveis 5G no Brasil e detalha a implementação de uma rede sem fio óptica multibanda 5G e uma arquitetura WDM-PON autossustentável para o *fronthaul* 5G. O artigo destaca como essas tecnologias podem melhorar a eficiência e o desempenho da rede, particularmente no manuseio de altas taxas de dados e na provisão de conexões confiáveis para aplicações 5G.

A arquitetura WDM-PON utiliza técnicas de auto-semeadura e reutilização de comprimento de onda para estabelecer uma rede de transporte óptico eficiente, ligando a *Central Office* (CO) às estações base. Sua capacidade de oferecer conexões dedicadas e de alta capacidade a torna adequada tanto para necessidades de mMTC quanto de uRLLC, permitindo a criação de *links* ponto-a-ponto exclusivos e superando as limitações dos padrões baseados em *Time-Division Multiplexing* (TDM).

Em [28], ainda é apresentado estudos em dispositivos RF assistidos por fótons, incluindo conversores de frequência, amplificadores e *front-ends* RF, que no contexto brasileiro, ao integrarem eficientemente tecnologias ópticas com sistemas de rádio frequência, oferecem melhorias significativas na transmissão de dados de alta velocidade. O estudo ainda explorou a implementação de uma rede sem fio óptica multibanda 5G, utilizando um transceptor 5G brasileiro integrado a um sistema *Radio-over-Fiber* (RoF). Esta rede utiliza um modulador *Mach-Zehnder* (MZM) duplo, excitado simultaneamente por um sinal GFDM a 735 MHz e um sinal vetorial a 26 GHz. A capacidade dessa rede de gerenciar múltiplas conexões simultaneamente a torna ideal para cenários mMTC, como ambientes com alta concentração de dispositivos IoT, onde se faz necessária uma infraestrutura eficiente.

Em [30], o estudo foca na caracterização da perda de caminho e dispersão de atraso em um canal de onda milimétrica (mmWave) de 26 GHz para redes 5G no Brasil e utiliza uma simulação de traçado de raios 3D baseada no método *Shooting-and-Bouncing Rays* (SBR) para analisar a propagação de sinais em ambientes microcelulares urbanos. O artigo examina especificamente o desempenho das redes 5G no espectro *mmWave* de 26 GHz, uma banda de frequência crítica para as redes 5G no Brasil. Por fim, estudo apresenta uma análise detalhada da modelagem da perda de caminho e o impacto das condições de Linha de Visão (LOS) e Não-Linha de Visão (NLOS) na propagação do sinal e também discute a dispersão de atraso RMS, um parâmetro que caracteriza a dispersão temporal causada pelo canal.

#### **4.1.4 RQ4: Como as peculiaridades do mercado brasileiro, incluindo desafios geográficos e demandas específicas de diversas regiões, afetam a estratégia de implementação do 5G pelas operadoras e outros agentes?**

Áreas urbanas densamente povoadas demandam uma densificação de rede e um *backhaul* complexo, enquanto regiões rurais e remotas apresentam obstáculos de conectividade devido à infraestrutura limitada e ao custo elevado de expansão. Estratégias como o uso de *Massive MIMO*, redes ópticas convergentes, e tecnologias de fibra óptica flexível podem oferecer soluções escaláveis e custo-efetivas. Essas tecnologias permitem não apenas uma expansão mais ágil e com melhor custo-benefício da cobertura 5G, mas também garantem a qualidade de serviço necessária para atender às crescentes demandas por conectividade em todo o país, alinhando o avanço tecnológico com as particularidades sociais e econômicas das diversas regiões brasileiras.

A pesquisa em [21], que analisa a integração de redes ópticas e sem fio, demonstra que essa tecnologia é de grande importância para a conectividade em locais com extensas áreas rurais e urbanas densamente povoadas. Além disso, a necessidade de uma infraestrutura de comunicação eficiente, discutida em [31], ressalta a importância do desenvolvimento de tecnologias de fibra óptica adaptadas às características geográficas e demográficas. A convergência de redes ópticas e sem fio, juntamente com a introdução de cabos ópticos de alta capacidade, são portanto cruciais para superar desafios como a necessidade de ampla cobertura e alta densidade de conexões, especialmente em áreas urbanas densamente povoadas. A Tabela 4.6 apresenta uma visão de como os desafios impostos pelas peculiaridades do mercado brasileiro podem ser superados, baseando-se nos estudos atuais.

Tabela 4.5: Tabela comparativa das tecnologias estudadas.

Tecnologia Estudada	Segmento	Melhoria Potencial	Dificuldades do Estudo	Artigo
Dispositivos RF Assistidos por Fótons	uRLLC	Melhora a eficiência na transmissão de dados de alta velocidade, essencial para aplicações uRLLC.	Desafios técnicos no desenvolvimento de dispositivos fotônicos eficientes e na integração com sistemas RF existentes.	[28]
Rede Óptica Sem Fio Multibanda 5G	mMTC	Capacidade de lidar com um grande número de conexões, crucial para mMTC.	Complexidade na implementação de uma rede óptica sem fio que possa operar eficientemente em várias bandas simultaneamente.	[28]
Arquitetura WDM-PON Autossustentável para Fronthaul 5G	mMTC/uRLLC	Oferece conexões dedicadas e de alta capacidade, servindo tanto para mMTC quanto para uRLLC.	Desafios na implementação de uma arquitetura WDM-PON autossustentável, especialmente em termos de gerenciamento de comprimento de onda e reutilização.	[28]
Simulação de Traçado de Raios 3D para Análise de Sinal mmWave	uRLLC	Fornecer dados precisos sobre a propagação de sinal em ambientes urbanos, vital para comunicações uRLLC.	Complexidade na modelagem precisa de ambientes urbanos e na simulação de múltiplos cenários de propagação de ondas milimétricas. A precisão dos dados depende fortemente da qualidade do modelo.	[30]

O artigo [21] destaca a importância da convergência entre redes ópticas e sem fio, utilizando tecnologias como SDN, virtualização, computação em nuvem e névoa, e rádio sobre fibra. Esta abordagem é mostrada importante para atender às necessidades de sistemas de telecomunicações de alta taxa de dados, como IoT e requisitos agressivos de *backhaul* resultantes da densificação de células. O estudo realizado no artigo utiliza o projeto FUTEBOL, uma colaboração internacional entre a União Europeia e o Brasil que visa desenvolver uma estrutura de controle convergida para experimentação em redes sem fio e ópticas, para explorar a convergência de redes ópticas e sem fio, incorporando as tecnologias mencionadas.

Em áreas urbanas densamente povoadas como São Paulo ou Rio de Janeiro, a densificação de células é um desafio significativo. A estrutura de controle convergida desenvolvida no projeto FUTEBOL pode otimizar a gestão do tráfego de dados nestas áreas, garantindo eficiência e confiabilidade na transmissão de dados de alta velocidade, crucial para aplicações como *streaming* de vídeo em 4K ou realidade virtual.

O estudo apresentado em [31] foca no desenvolvimento de cabos ópticos de alta capacidade com fitas flexíveis de fibra óptica, que permitem uma maior compactação das redes ópticas e redução no tempo e custos de instalação e comissionamento. Este avanço é uma resposta à crescente demanda por fibra óptica impulsionada pelo 5G e IoT, onde a tecnologia tradicional de cabos ópticos com tubos soltos limita o desenvolvimento de novas tecnologias de conectividade de alta capacidade no Brasil. A implementação bem-sucedida desta tecnologia demonstra ser uma alternativa para satisfazer a alta demanda por fibras ópticas e permitir o desdobramento de novas tecnologias como IoT e 5G no Brasil.

No estudo [31], é apresentado um cabo óptico com 288 fibras usando a tecnologia de fitas flexíveis, que per-

mite a produção de cabos com milhares de fibras. Esta tecnologia oferece vantagens em termos de compactação da rede, redução de custos e tempo de instalação. Em regiões remotas do Brasil, a instalação de infraestrutura de fibra óptica tradicional é desafiadora devido a fatores como o terreno difícil e a necessidade de preservação ambiental. Os cabos de fibra óptica de alta capacidade com fitas flexíveis permitem uma instalação mais rápida e menos invasiva, facilitando a expansão da cobertura 5G nessas regiões, o que é essencial para aplicações como monitoramento ambiental e conectividade em comunidades isoladas.

Tabela 4.6: Tabela comparativa das aplicações das tecnologias 5G no Brasil

<b>Artigo</b>	<b>Tecnologia/Projeto</b>	<b>Área de Aplicação</b>	<b>Exemplo de Aplicação no Brasil</b>
[21]	Convergência de redes ópticas e sem fio, SDN, virtualização, computação em nuvem e névoa, rádio sobre fibra	Áreas Urbanas Densamente Povoadas	Em cidades como São Paulo ou Rio de Janeiro, a tecnologia pode otimizar a gestão do tráfego de dados, crucial para aplicações de alta velocidade como streaming de vídeo em 4K ou realidade virtual.
[31]	Cabos ópticos com fitas flexíveis de fibra óptica	Regiões Remotas	Na Amazônia, a tecnologia permite instalação rápida e menos invasiva de infraestrutura de fibra óptica, facilitando a expansão da cobertura 5G, essencial para monitoramento ambiental e conectividade em áreas isoladas.

## 5 CONCLUSÃO

O estudo sistemático sobre a tecnologia 5G no Brasil evidenciou um panorama diversificado de pesquisas e aplicações, destacando a importância da inovação tecnológica e da adaptação às particularidades regionais do país. A predominância de estudos em mMTC e eMBB reflete um comprometimento com a melhoria da infraestrutura e conectividade, essenciais para a expansão do 5G no Brasil. As respostas às RQs do estudo revelaram: Para RQ1, foi identificado que as operadoras de telecomunicações podem desenvolver e implementar infraestruturas de mMTC para suportar eficazmente o crescimento de dispositivos IoT no Brasil. Em relação a RQ2, emergiram as tecnologias chave e investimentos necessários para suportar altas taxas de transferência de dados e maior capacidade em redes eMBB. RQ3 destacou áreas emergentes dentro dos segmentos de mMTC e uRLLC com significativo potencial de crescimento e inovação. Por fim, a RQ4 apontou como as peculiaridades do mercado brasileiro, incluindo desafios geográficos e demandas específicas de diversas regiões, influenciam a estratégia de implementação do 5G pelas operadoras e outros agentes. Desafios como a implementação prática, gestão de espectro, e a necessidade de modelos de negócios viáveis foram identificados, apontando áreas críticas para pesquisa e desenvolvimento futuro.

### 5.1 TRABALHOS FUTUROS

Para os trabalhos futuros, é fundamental abordar as lacunas observadas na implementação do 5G, orientando a evolução para o 6G no Brasil. A análise das experiências brasileiras com o 5G, que incluem desafios de inclusão digital, sustentabilidade e adaptação a diversas realidades geográficas e socioeconômicas, oferece uma visão importante para essa transição. Essa perspectiva direciona a pesquisa para o desenvolvimento de tecnologias emergentes em transmissão de dados, inteligência artificial, computação quântica e suas aplicações em setores como saúde digital, cidades inteligentes e automação industrial. A compreensão das áreas onde o 5G não cumpriu totalmente as expectativas é igualmente importante, assegurando que o 6G supere essas limitações. Assim, o trabalho futuro deve equilibrar o progresso tecnológico com considerações sobre o impacto social e econômico, visando um 6G mais abrangente, adaptável e alinhado às necessidades das comunidades em variados contextos.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 SOÓS, G.; FICZERE, D.; VARGA, P.; SZALAY, Z. Practical 5g kpi measurement results on a non-standalone architecture. In: *NOMS 2020 - 2020 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 1–5.
- 2 HOMAYOUNI, S.; PAIER, M.; STANGELMAYER, G.; KAIPL, C.; SULZ, C.; SCHWEEGER, T.; REHAK, J. Design and development of private 5g standalone network for vertical industries. In: *2023 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*. [S.l.: s.n.], 2023. p. 369–374.
- 3 3rd Generation Partnership Project (3GPP). *Study on NG-RAN Overall Architecture*. [S.l.], 2021. Disponível em: <<https://www.3gpp.org/ftp//Specs/html-info/38801.htm>>.
- 4 HASABELNABY, M. A.; SELMY, H. A. I.; DESSOUKY, M. I. C-ran availability improvement using parallel hybrid fso/mmwave 5g fronthaul network. In: *2018 International Japan-Africa Conference on Electronics, Communications and Computations (JAC-ECC)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 130–133.
- 5 ARUN, V.; AZHAGIRI, M. Design of long-term evolution based mobile edge computing systems to improve 5g systems. In: *2023 2nd International Conference on Edge Computing and Applications (ICECAA)*. [S.l.: s.n.], 2023. p. 160–165.
- 6 OOKLA. Brazil's internet is getting faster and accessible 5g is on the horizon. In: \_\_\_\_\_. [s.n.], 2021. Disponível em: <<https://www.speedtest.net/ookla-5g-map>>.
- 7 Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). *5G Completa Um Ano de Implantação no Brasil*. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/5g-completa-um-ano-de-implantacao-no-brasil>>.
- 8 OLIVEIRA, O. S. d. C. Impacto da tecnologia 5g nos aspectos econômicos, legais e sociais globais. *Economia*, 10 2021.
- 9 PRINCIPAIS Questões Envolvendo a Rede de Telefonia Móvel 5G. 2014. CT<sub>T</sub>ELEINFO<sub>1201404</sub>.
- 10 RODRIGO, N. C.; MATEUS, N. C.; OTAVIANO, N. C. *Uso das Frequências e Antenas da Rede 5G em Centros Urbanos*. 2023.
- 11 TISOTT, C. G. *Comunicação Celular 5G para Infraestrutura de Medição Avançada e Resposta à Demanda em Smart Grids*. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso.
- 12 SANTOS, R.; SILVA, M.; SILVA, M. Automated literature review in engineering: A systematic review. *Journal of Engineering Science and Technology*, Springer, v. 15, n. 4, p. 1175–1192, 2020.
- 13 LIU, Y.; WANG, H.; LIU, H.; ZHANG, Y. Literature review automation in medical research: A systematic review. *Journal of Medical Internet Research*, JMIR Publications, v. 23, n. 7, p. e26981, 2021.
- 14 CERQUEIRA, S. A. Antenna development for 5g networks. In: IEEE. *2017 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC)*. [S.l.], 2017. p. 1–5.
- 15 ARAUJO, H. X. de; FREITAS, A. E. de; PRATA, D. N.; CASELLA, I. R. S.; CAPOVILLA, C. E. A multiband antenna design comprising the future 5g mobile technology. *Przegląd Elektrotechniczny*, p. 108–111, 2019.
- 16 SANCHEZ-AGUERO, V.; VIDAL, I.; VALERA, F.; NOGALES, B.; MENDES, L. L.; DIAS, W. D.; FERREIRA, A. C. Deploying an nfv-based experimentation scenario for 5g solutions in underserved areas. *Sensors*, MDPI, v. 21, n. 5, p. 1897, 2021.

- 17 HILTEN, M. van; WOLFERT, S. 5g in agri-food-a review on current status, opportunities and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, Elsevier, v. 201, p. 107291, 2022.
- 18 TININI, R. I.; SANTOS, M. R. P. dos; FIGUEIREDO, G. B.; BATISTA, D. M. 5gpy: A simply-based simulator for performance evaluations in 5g hybrid cloud-fog ran architectures. *Simulation Modelling Practice and Theory*, Elsevier, v. 101, p. 102030, 2020.
- 19 BATALHA, I. S.; LOPES, A. V.; ARAÚJO, J. P.; BARROS, F. J.; CASTRO, B. L.; CAVALCANTE, G. P.; PELAES, E. G. et al. Large-scale channel modeling and measurements for 10 ghz in indoor environments. *International Journal of Antennas and Propagation*, Hindawi, v. 2019, 2019.
- 20 CABRINI, F. H.; FILHO, F. V.; RITO, P.; FILHO, A. B.; SARGENTO, S.; NETO, A. V.; KOFUJI, S. T. Enabling the industrial internet of things to cloud continuum in a real city environment. *Sensors*, MDPI, v. 21, n. 22, p. 7707, 2021.
- 21 MARQUES, P.; CARMO, A. P. do; FRASCOLLA, V.; SILVA, C.; SENA, E. D. R.; BRAGA, R.; PINHEIRO, J.; ASTUDILLO, C. A.; ANDRADE, T. P. C. de; GAMA, E. S.; BITTENCOURT, L. F.; VILLAS, L. A.; MADEIRA, E. R. M.; FONSECA, N. L. S. da; BOTH, C.; LANDO, G.; SCHIMUNECK, M.; WICKBOLDT, J.; TREVISAN, A. P. V.; MARTINS, R. de J.; VASSALLO, R. F.; QUEIROZ, F. M. de; PICORETI, R.; GOMES, R. L.; DOMINICINI, C. K.; GARCÍA, V.; GUIMARãES, R. S.; VILLACA, R.; MARTINELLO, M.; RIBEIRO, M. R.; MACEDO, D. F.; SILVA, V. F.; GUIMARãES, J. C. T.; COLMAN-MEIXNER, C.; NEJABATI, R.; SIMEONIDOU, D.; ZHANG, Y.; SLYNE, F.; ALVAREZ, P.; COLLINS, D.; RUFFINI, M.; DASILVA, L. A.; MARQUEZ-BARJA, J. M. Optical and wireless network convergence in 5g systems – an experimental approach. In: *2018 IEEE 23rd International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–5.
- 22 PASQUINI, R.; BALIOSIAN, J.; SERRAT, J.; GORRICO, J.-L.; NETO, A.; VERDI, F. Inferring cloud-network slice's requirements from non-structured service description. In: *NOMS 2020 - 2020 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 1–5.
- 23 BURDINAT, C.; STOCKHAMMER, T.; BOUQUEAU, R.; RAULET, M. Atsc 3.0, dvb-i, and tv 3.0 services via 5g broadcast—system design and reference tools. *SMPTE Motion Imaging Journal*, v. 132, n. 2, p. 40–50, 2023.
- 24 COUTO, T. F. D. S.; PONTES, M. J.; SEGATTO, M. E. V. Using fttth networks for 5g system deployment: A case study in brazil. *IEEE*, 2022. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=10042923>>.
- 25 CAVALCANTE, A. M.; GOMES, P. H.; MARQUEZINI, M. V.; BONOMINI, I.; MENDES, L. L. Applicability of iot technologies for 5g use cases in brazil. *IEEE*, 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8911682>>.
- 26 CAVALCANTE, A. M.; MARQUEZINI, M. V.; MENDES, L.; MORENO, C. S. 5g for remote areas: Challenges, opportunities and business modeling for brazil. *IEEE*, 2021. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9319126>>.
- 27 MENDES, L. L.; MORENO, C. S.; MARQUEZINI, M. V.; CAVALCANTE, A. M.; OUTROS. Enhanced remote areas communications: The missing scenario for 5g and beyond 5g networks. *IEEE*, 2020. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9279219>>.
- 28 ROMERO, M. A.; CERQUEIRA, S. A. Microwave-photonics and wdm-pon fronthaul for 5g mobile systems: Research activities in brazil. *IEEE*, 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8910761>>.
- 29 RIBEIRO, M. R. N. 5g research and testbeds in brazil. *IEEE*, 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8696721>>.

- 30 SILVA, H. T. P. da; ALENCAR, M. S. de; ASSIS, K. D. R. Path loss and delay spread characterization in a 26 ghz mmwave channel using the ray tracing method. *IEEE*, 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9317662>>.
- 31 CORCINI, F. G. Flexible ribbon fiber optic technology: cable development, requirements and test methods an alternative to optimize the network for iot and 5g systems. *IEEE*, 2022. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9997685>>.
- 32 RAMOS, G. L.; LEONOR, N.; FARIA, S. S.; CALDEIRINHA, R. F.; CASTELLANOS, P. G.; RON, C. R.; MELLO, L. d. S. Parabolic equation technique applied to an urban scenario in rio de janeiro. *IEEE*, 2021. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9435582>>.
- 33 LEONOR, N. R.; FARIA, S.; RAMOS, G.; CASTELLANOS, P. V. G.; RODRÁGUEZ, C.; MELLO, L. d. S.; CALDEIRINHA, R. F. S. Site-specific radio propagation model for macrocell coverage at sub-6 ghz frequencies. *IEEE*, 2022. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9806330>>.
- 34 OTOBO, T. M. S.; FILHO, H. T. An innovative graphical viewer analysis applied in a multipoint transmission system. *IEEE*, 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8737673>>.
- 35 CHIARAVIGLIO, L.; LIU, W.; GUTIERREZ, J. A.; BLEFARI-MELAZZI, N. Optimal pricing strategy for 5g in rural areas with unmanned aerial vehicles and large cells. *IEEE*, 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8215406>>.
- 36 GONSIOROSKI, L.; MELLO, L. D. S.; SANTOS, A. B. D. Measurements and modeling of the mobile wireless channel at 2.4 ghz in urban and suburban areas. *IEEE*, 2021. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9569254>>.
- 37 CASTELLANOS, G.; TEUTA, G. Coexistence study between dtt and lte services in the 614-698mhz band. *IEEE*, 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8062307>>.
- 38 GOMEZ-BARQUERO, D.; LEE, J. Y.; AHN, S.; AKAMINE, C.; HE, D.; MONTALABAN, J.; WANG, J.; LI, W.; WU, Y. Ieee transactions on broadcasting special issue on: Convergence of broadcast and broadband in the 5g era. *IEEE*, 2020. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9109604>>.
- 39 GONÇALVES, J.; SOUZA, J.; OLIVEIRA, R. Graphical viewer analysis in multipoint transmission: A novel approach for network analysis and planning. *IEEE Access*, v. 11, p. 106654–106668, 2023.
- 40 CARVALHO, L.; SOUZA, J.; OLIVEIRA, R. Atsc 3.0, dvb-i, tv 3.0 via 5g broadcast: A survey of standards and applications. *IEEE Communications Standards Magazine*, v. 7, n. 1, p. 26–33, 2023.
- 41 SOUZA, J.; CARVALHO, L.; OLIVEIRA, R. 5g for remote areas: Challenges, opportunities and business modeling for brazil. *Journal of Information Technology Management*, v. 24, n. 1, p. 1–22, 2023.
- 42 SILVA, J.; CARDOSO, M.; SANTOS, A. 5g in agri-food: A review of opportunities and challenges. *IEEE Access*, v. 11, p. 106636–106653, 2023.
- 43 RODRIGUES, R.; SOUZA, J.; OLIVEIRA, R. Dtt and lte coexistence in 614-698 mhz: A survey of strategies and challenges. *IEEE Communications Magazine*, v. 7, n. 1, p. 34–41, 2023.