



# Visão Geral das Redes 6G

**xGMobile**  
Centro de Competência EMBRAPPII  
Inatel em Redes 5G e 6G

**Inatel**

## **xGMobile – Centro de Competência EMBRAPII Inatel em Redes 5G e 6G**

O Centro de Competência, localizado no Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), é um modelo inédito no Brasil, destinado a impulsionar o desenvolvimento de tecnologias avançadas com elevado potencial para o mercado. A iniciativa posicionará o Brasil entre as principais nações inovadoras do mundo.

Formado por um grupo de pesquisa credenciado em uma área temática específica, o Centro foi desenvolvido para enfrentar desafios e questões de elevada complexidade que tenham impacto social e econômico. Além disso, conta com infraestrutura moderna e uma equipe com competência e experiência comprovadas na área de atuação.

# Índice

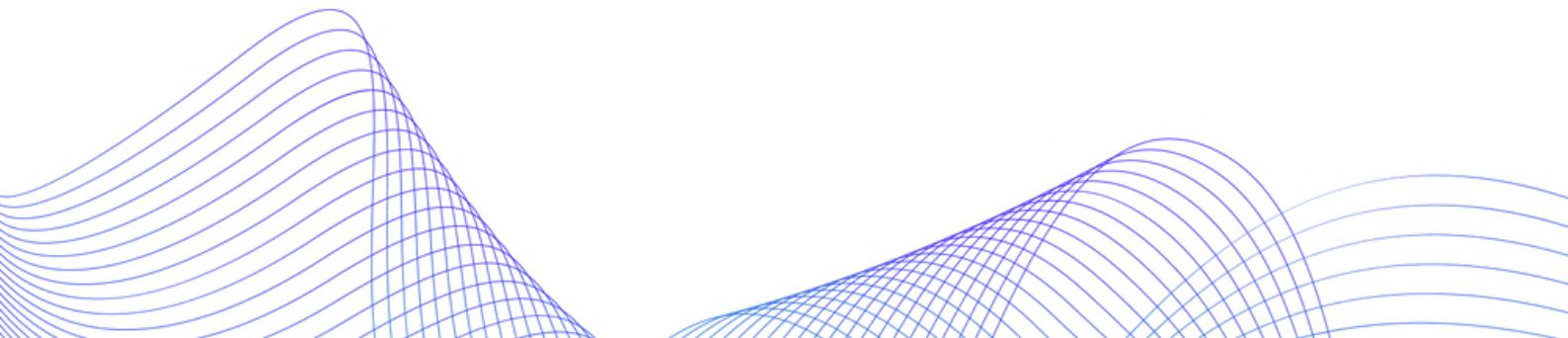
1. Introdução.....	1
2. Evolução das Redes Móveis.....	1
2.1 Cenários de Uso das Redes 5G.....	2
2.2 Da 5G à 6G: Traçando o Caminho para o Futuro da Conectividade.....	3
2.3 Explorando as Capacidades das Redes 6G nas Comunicações Futuras.....	5
3. Conclusão.....	7

# 1. Introdução

Ao longo das últimas quatro décadas, as redes de comunicações móveis evoluíram por cinco gerações. A cada década, uma nova geração de redes móveis emerge, incorporando mais tecnologias e capacidades, possibilitando às pessoas aprimorar seu trabalho e estilo de vida. Com a implantação e consolidação dos sistemas 5G, que promete transformar a conectividade móvel através de elevadas taxas de transmissão, baixa latência e capacidade para suportar uma maior densidade de dispositivos conectados, a atenção se direciona para os próximos avanços. A indústria começa a explorar o futuro das redes, antecipando as tecnologias que definirão a próxima era de comunicação digital.

# 2. Evolução das Redes Móveis

A era pré-celular, antes da década de 1980, é marcada como a zero geração (0G) das redes móveis, fornecendo funcionalidades simples de comunicação por rádio por meio de dispositivos como *walkie-talkies*. A primeira geração (1G) foi introduzida publicamente e comercialmente nas redes celulares na década de 1980, proporcionando comunicação por voz através de tecnologia móvel analógica. A segunda geração (2G) marcou a transição das redes móveis analógicas para digitais, oferecendo suporte a serviços de dados básicos, como mensagens curtas, além da comunicação por voz. A terceira geração (3G) das redes móveis introduziu serviços de banda larga móvel, possibilitando novas aplicações, como serviços de mensagem multimídia, vídeo chamadas e TV móvel. Com a chegada da quarta geração (4G), serviços de banda larga móvel foram significativamente melhorados, introduzindo uma comunicação totalmente baseada em IP (*Internet Protocol*), Voz sobre IP (VoIP, *Voice over Internet Protocol*), viabilizando a transmissão de vídeo em alta definição e jogos online. A quinta geração (5G) representa a evolução natural das redes móveis 4G e já está em processo de implantação em todo o mundo.

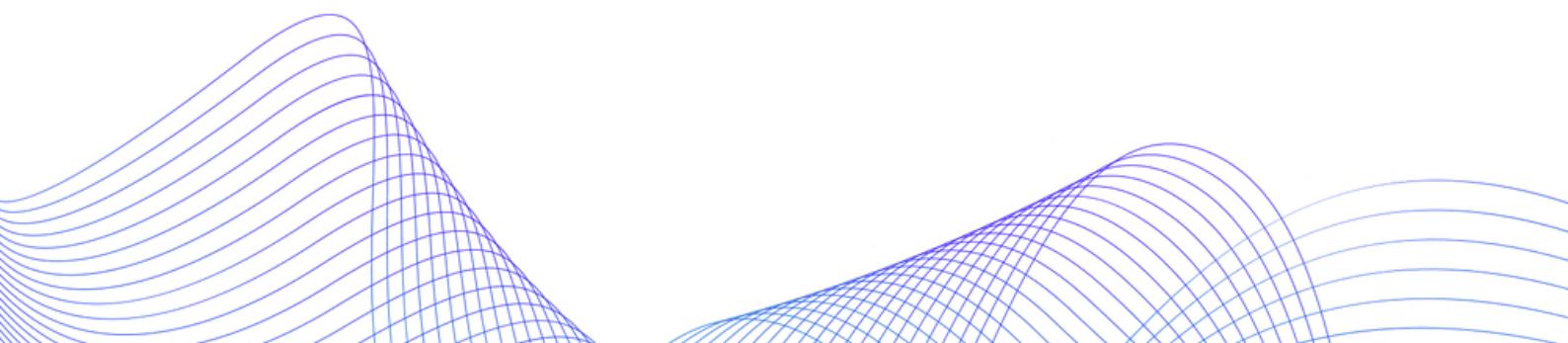


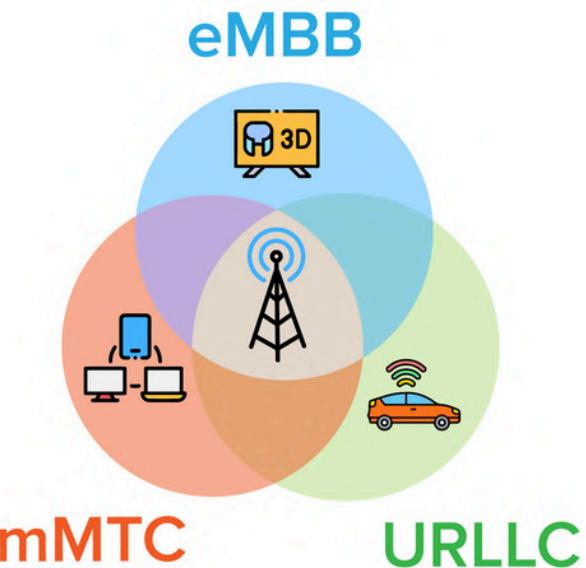
## 2.1 Cenários de Uso das Redes 5G

O IMT-2020 (*International Mobile Telecommunications-2020*) propôs requisitos de capacidade para as redes 5G que não se limitam apenas à taxa de dados, abrangendo também outros tipos de serviços e mercados. Com base nesses requisitos de capacidade, foram definidos três cenários de uso:

- **Banda Larga Móvel Aprimorada (eMBB, Enhanced Mobile Broadband):** projetada para fornecer maior largura de banda e taxas de dados máximas de até 20 Gbps, enriquecendo a experiência do usuário em atividades que exigem altas velocidades de transmissão, como *streaming* de vídeos em alta definição.
- **Comunicações Ultra Confiáveis e de Baixa Latência (URLLC, Ultra Reliable Low Latency Communications):** essenciais para aplicações que demandam uma comunicação extremamente confiável e com latência mínima, de até 1 ms, como monitoramento remoto de dispositivos, operação de veículos autônomos e realização de procedimentos cirúrgicos a distância.
- **Comunicações Machine-Type Massivas (mMTC, Massive Machine-Type Communications):** suportam mais de 100 vezes o número de dispositivos por unidade de área em comparação com as redes 4G, possibilitando a comunicação entre um grande número de dispositivos simultaneamente.

A Figura 1 ilustra os três principais cenários de uso das redes 5G, identificados pelas siglas eMBB, URLLC e mMTC. Observa-se que, dependendo da aplicação, pode ser necessário mais de um serviço para garantir um desempenho adequado e eficiente. Por exemplo, um sistema de transporte autônomo pode exigir tanto a confiabilidade e baixa latência oferecidas pelo URLLC quanto a capacidade de comunicação massiva proporcionada pelo mMTC.



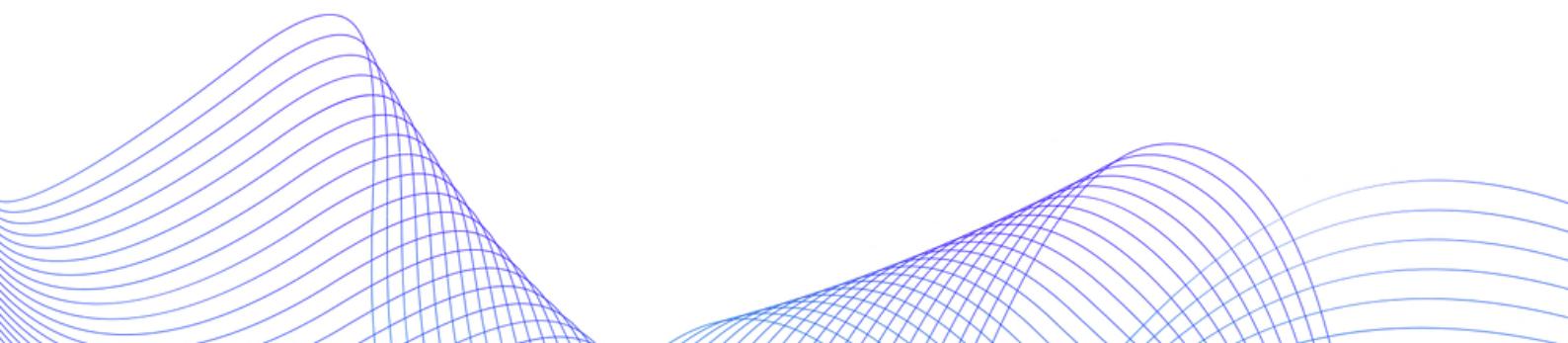


**Figura 1.** Cenários de aplicação das redes 5G.

## 2.2 Da 5G à 6G: Traçando o Caminho para o Futuro da Conectividade

Conforme destacado anteriormente, cada cenário de uso da rede 5G é caracterizado por capacidades distintas. Isso inclui experiências imersivas através da realidade virtual, aumentada e mista, a promoção de sistemas de transporte inteligentes com veículos autônomos, a precisão em procedimentos cirúrgicos remotos, bem como o avanço da Internet das Coisas (*IoT, Internet of Things*), que é o pilar central da Indústria 4.0. Essas aplicações são apenas alguns exemplos do amplo espectro de inovações habilitadas pela 5G, que se estendem por diversos setores e aspectos da vida moderna, conforme apresentado na Figura 2.

No entanto, a padronização realizada pelo 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) não alcançou o nível de inovação necessário para atender à visão proposta para a 5G. A padronização baseou-se em conceitos já estabelecidos em tecnologias de rede maduras, principalmente no que diz respeito às formas de onda, estrutura de quadro, fatiamento da rede e métodos de acesso ao espectro. Essa abordagem resulta em algumas limitações que impedem a implementação de determinadas aplicações idealizadas para os sistemas 5G.



Ao observar a evolução das redes móveis, nota-se que a maturidade das aplicações geralmente ocorre ao longo de duas gerações. Cada geração traz inovações para fornecer serviços, enquanto a geração subsequente efetivamente oferece esses serviços. Por exemplo, a primeira geração de redes móveis introduziu o serviço de voz, que só se popularizou na segunda geração, beneficiada pela digitalização e redução de custos. A terceira geração viabilizou o acesso à internet, mas o pleno aproveitamento dessa capacidade, suficiente para substituir o desktop pelo celular, só se realizou na quarta geração, com velocidades de conexão adequadas às aplicações da época. Atualmente, na quinta geração, foram propostas aplicações inovadoras que poderão ser totalmente exploradas com a evolução para sexta geração.



**Figura 2.** Ilustração das diversas inovações viabilizadas pela tecnologia 5G.

À medida que a padronização da 5G se solidifica, os pesquisadores já começaram a direcionar seus estudos para a futura rede de comunicação, com o intuito de atender aos serviços previstos para a década de 2030. Atualmente, os principais avanços nas redes móveis concentram-se em proporcionar um aumento exponencial no tráfego de dados e na demanda por conectividade. Entretanto, as premissas para as redes 6G vão além, visando oferecer novas funcionalidades que transcendem as envisionadas pelo IMT-2020.

## 2.3 Explorando as Capacidades das Redes 6G nas Comunicações Futuras

Os recentes avanços no campo das comunicações desencadearam a introdução de conceitos inovadores, incluindo Inteligência de Borda (EI, *Edge Intelligence*), que permite o processamento de dados próximo ao usuário final; as comunicações na faixa de Terahertz (THz), que abrem caminho para taxas de transmissão extremamente altas; o Acesso Múltiplo Não Ortogonal (NOMA, *Non-Orthogonal Multiple Access*), que melhora a eficiência espectral permitindo que múltiplos usuários compartilhem a mesma faixa de frequência, utilizando alocações de potência diferenciadas; e a Grande Superfície Inteligente (LIS, *Large Intelligent Surface*), uma tecnologia que transforma superfícies em emissores e receptores de sinal. Antecipa-se, ainda, a integração da Inteligência Artificial (AI, *Artificial Intelligence*) e do Aprendizado de Máquina (ML, *Machine Learning*) em todas as camadas da rede, buscando uma utilização mais eficiente dos recursos disponíveis. Paralelamente, espera-se o surgimento de aplicações como Telepresença Holográfica (HT, *Holographic Telepresence*), Veículos Aéreos Não Tripulados (UAV, *Unmanned Aerial Vehicles*), Realidade Estendida (XR, *Extended Reality*), Redes Elétricas Inteligentes (*Smart Grid 2.0*), Internet Tátil, Indústria 5.0 e Metaverso como aplicações das futuras redes de comunicação.

Além disso, a IoT está evoluindo para se tornar a Internet de Tudo (IoE, *Internet of Everything*), com a ambição de conectar um volume massivo de sensores e dispositivos, integrando dados, pessoas e processos. Adicionalmente, espera-se que as principais aplicações da sexta geração estejam centradas no ser humano, estabelecendo novos padrões de interatividade e personalização. Esse avanço apresenta desafios significativos para as redes de comunicações móveis convencionais.

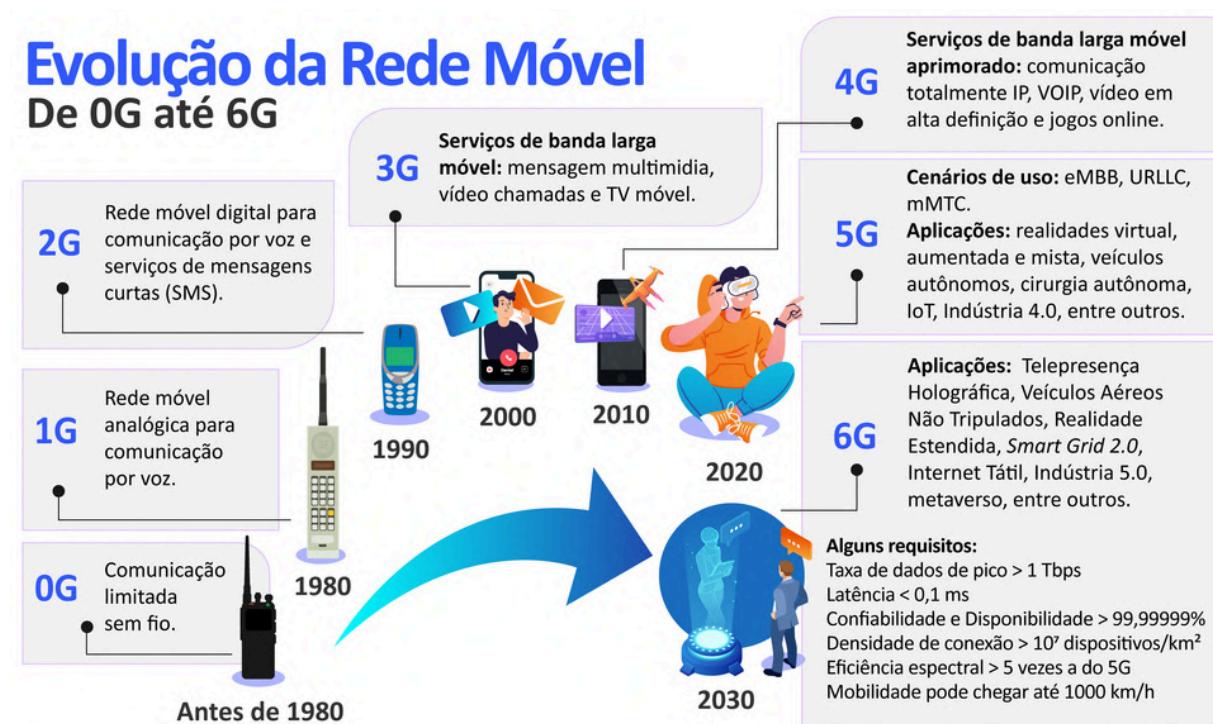


**Figura 2.** Aplicação de IoE na saúde.

A Figura 2 ilustra como a IoE pode ser aplicada na área da saúde, visando uma medicina mais conectada e integrada.

Os desafios das aplicações centradas nas necessidades humanas incluem o aprimoramento da segurança e a proteção da privacidade dos usuários. Além disso, é essencial expandir a cobertura da rede para garantir acesso à internet em qualquer lugar e aprimorar as taxas de transmissão de dados, reduzindo a latência de ponta a ponta. Também é importante oferecer acesso em tempo real a recursos de computação avançados e fornecer informações de localização e detecção com alta precisão. Essas melhorias são fundamentais para atender às exigências de um mundo cada vez mais conectado e orientado por dados.

Dois outros focos fundamentais de pesquisa para as redes 6G dizem respeito à redução do consumo de energia e ao prolongamento da vida útil da bateria dos dispositivos de comunicação, visando não apenas melhorar a eficiência energética, mas também facilitar e aprimorar a experiência de comunicação dos usuários.



**Figura.3** Evolução das redes móveis de 0G até 6G, destacando as principais características de cada geração.

Para a maioria das aplicações das redes 6G, as frequências entre 100 GHz e 1 THz são consideradas as mais promissoras. No entanto, para superar limitações como atenuação e perda de propagação nessas faixas e garantir sistemas funcionais, é necessário superar diversos obstáculos. Esses incluem aperfeiçoamento de métodos de modulação e codificação, desenvolvimento de técnicas de múltiplo acesso, aplicação de tecnologias MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*), elaboração de modelos de propagação, avanços em processamento de sinal e inovação na concepção de transceptores.

Diante disso, prevê-se que as taxas de dados de pico ultrapassem 1 Tbps, com atrasos de ponta a ponta praticamente imperceptíveis, resultando em uma latência mínima de 0,1 ms. Além disso, a disponibilidade e a confiabilidade da rede devem ultrapassar 99,99999%. Espera-se também uma densidade de conexão superior a  $10^7$  dispositivos/km<sup>2</sup> para suportar a IoE. A eficiência espectral da rede 6G é projetada para ser cinco vezes maior que a da 5G, e o suporte à mobilidade deve alcançar velocidades de até 1000 km/h. A Figura 3 ilustra a evolução das redes móveis, enfatizando as características mais relevantes de cada geração.

### 3. Conclusão

Um volume crescente de pesquisas vem sendo dedicado a uma variedade de tópicos relacionados à 6G, abrangendo desde requisitos e padronização até casos de uso, novas tecnologias e potenciais aplicações. As projeções para 2030 antecipam uma sociedade inteligente e altamente digitalizada, impulsionada por dados e sustentada por uma conectividade totalmente sem fio e ilimitada. As redes 6G prometem revolucionar a interação com a tecnologia ao integrar funcionalidades completas que englobam desde sensoriamento, comunicação e computação até armazenamento em cache, controle, posicionamento, radar, navegação e imagens. Este conjunto de capacidades coloca a rede 6G no centro de uma transformação global, prometendo uma era de inovações tecnológicas sem precedentes.

