



Tecnologias Habilitadoras para as Redes 6G

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

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. Tecnologias Habilitadoras para as Redes 6G.....	1
2.1 Inteligência Artificial (IA).....	2
2.2 Comunicação Terahertz.....	4
2.3 Comunicação por Luz Visível.....	5
2.4 Ultra-Massivo MIMO.....	6
2.5 Comunicação Quântica.....	7
2.6 Superfície Refletora Inteligente.....	8
2.7 RAN <i>Slicing</i>	9
2.8 Operação <i>Full Duplex</i>	10
3. Conclusão.....	11

1. Introdução

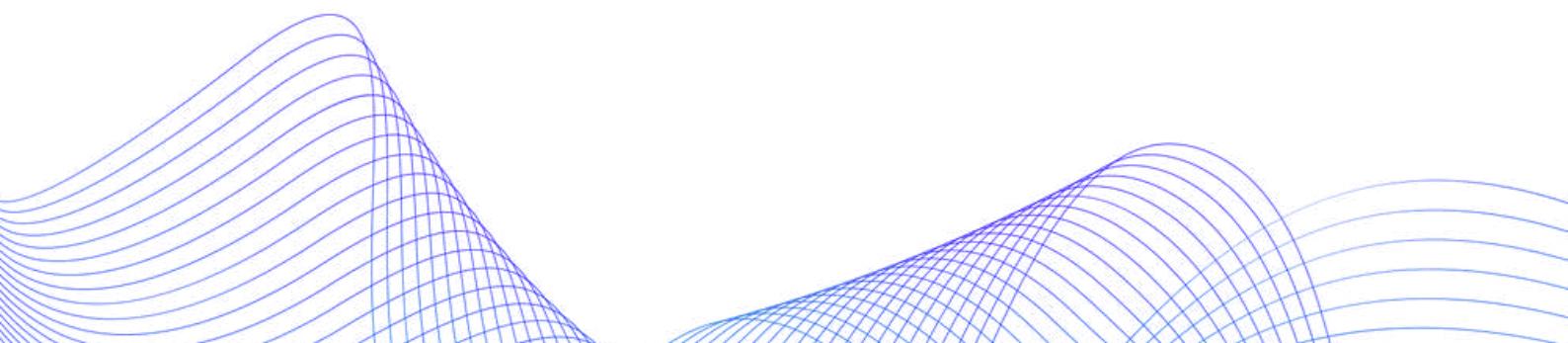
A quinta geração (5G) de redes móveis introduziu uma evolução notável, proporcionando alta velocidade, baixa latência e melhorias na conectividade. Esse avanço tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias e aplicações inovadoras, transformando diversos setores.

Paralelamente, a pesquisa e desenvolvimento da próxima geração de redes de comunicação móvel, a sexta geração (6G), já estão em andamento. Atualmente, encontram-se na fase inicial de exploração com a introdução de novas tecnologias habilitadoras. Essas tecnologias são essenciais para a criação e aprimoramento de produtos, serviços e processos, pavimentando o caminho para um futuro de conectividade ainda mais avançada.

2. Tecnologias Habilitadoras para as Redes 6G

Com previsão de lançamento comercial a partir de 2028, a rede móvel 6G promete trazer uma revolução ainda mais significativa. As tecnologias habilitadoras das redes 6G visam aumentar a velocidade de dados, reduzir a latência, melhorar a confiabilidade, expandir a inteligência da rede, ampliar a conectividade em larga escala, aprimorar a segurança e suportar serviços inovadores. Essas tecnologias possibilitam a transmissão de grandes volumes de informações em tempo real, garantem respostas instantâneas para aplicações críticas, otimizam a rede automaticamente com o uso da Inteligência Artificial (IA), conectam um número massivo de dispositivos, protegem dados sensíveis e viabilizam novos serviços, como realidade estendida, cidades inteligentes, projeções holográficas e internet tátil e háptica, entre outros.

Algumas das principais tecnologias habilitadoras que estão sendo exploradas para esse novo sistema estão ilustradas na Figura 1 e serão discutidas a seguir.



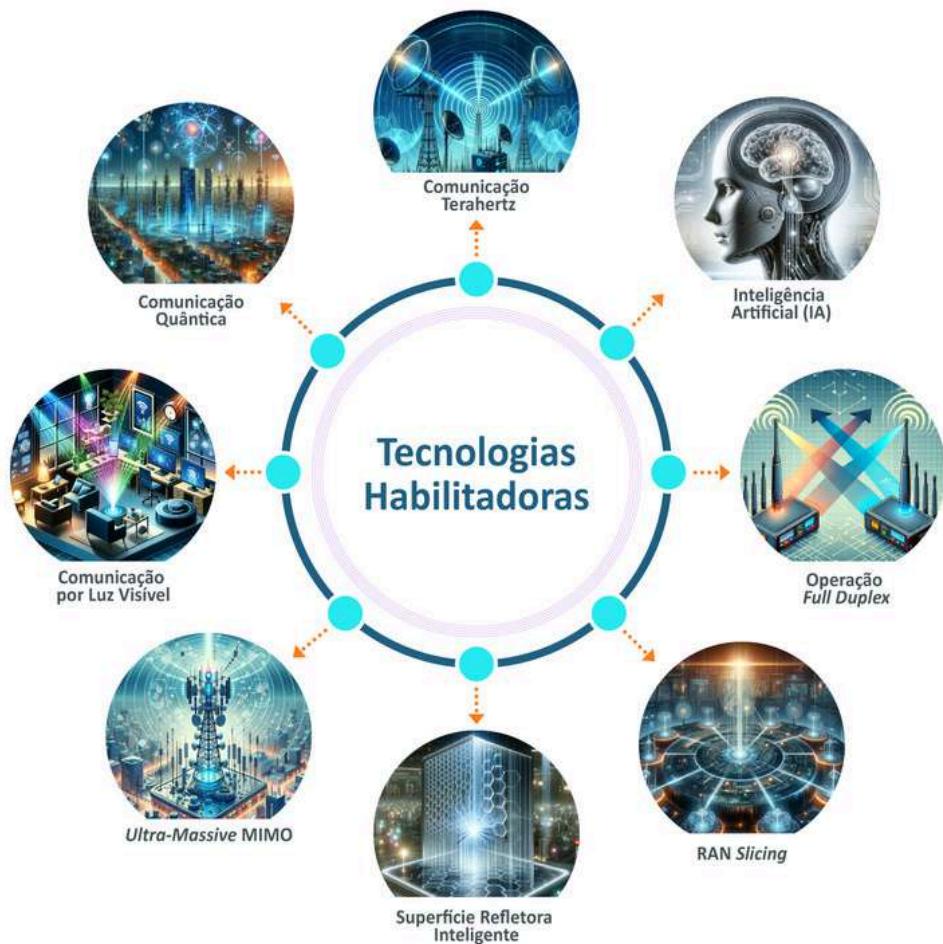


Figura 1. Algumas tecnologias habilitadoras para as redes 6G.

2.1 Inteligência Artificial (IA)

A Inteligência Artificial (IA) é uma tecnologia promissora para as redes 6G e desempenha um papel fundamental no seu desenvolvimento, permitindo uma gestão e otimização de rede mais inteligentes. Além disso, a IA oferece suporte a aplicações avançadas, como veículos autônomos e cidades inteligentes. A integração da IA com os sistemas 6G marca uma revolução, passando da simples conexão de dispositivos para a interconexão de todos os elementos, tanto no ambiente digital quanto no físico, como ilustrado na Figura 2. Isso resulta no surgimento da Internet de Todas as Coisas (IoE). Juntamente com o Aprendizado de Máquina e o *Big Data*, a IA tem a capacidade de criar uma rede de comunicação 6G extremamente inteligente. A IA desempenha um papel essencial na previsão do tráfego de rede, na análise do comportamento do usuário e na otimização dos recursos da rede, garantindo conectividade contínua, alta confiabilidade e baixa latência.

Adicionalmente, a IA capacita a tomada de decisões em tempo real em diversas aplicações, proporcionando comunicações mais rápidas e eficientes.



Figura 2. Aplicação de IA na conexão de vários elementos.

Embora promissora, a implementação efetiva da IA na concepção da interface aérea enfrenta obstáculos consideráveis, incluindo o elevado consumo de energia e a ausência de padronizações e regulamentações consistentes. Também, é fundamental contar com um poder computacional avançado, particularmente para processos como o treinamento de grandes redes neurais, que exigem um alto nível de capacidade de processamento. Um dos desafios mais importantes a serem superados é assegurar que as redes 6G disponham da infraestrutura computacional necessária para suportar, de maneira eficiente, as aplicações de IA. Isso implica não somente em ter capacidade de processamento suficiente, mas também em garantir recursos que atendam às exigências complexas dessas aplicações. Outro aspecto crítico é a necessidade de a IA ter acesso a grandes quantidades de dados para treinar e aperfeiçoar modelos. No entanto, esses dados frequentemente contêm informações confidenciais. Garantir a preservação da privacidade desses dados se torna um desafio considerável para as redes 6G impulsionadas pela IA, especialmente diante da crescente rigidez das regulamentações voltadas para a proteção de dados.

2.2 Comunicação Terahertz

Uma das tecnologias com grande potencial para impulsionar as redes de comunicação móvel 6G, é a comunicação Terahertz (THz). A faixa de frequência THz opera acima de 100 GHz, proporcionando taxas de transferência de dados elevadas, que podem atingir vários terabits por segundo. Esta tecnologia tem o potencial de suportar uma variedade de aplicações avançadas, tais como realidades aumentada e virtual, tratamento remoto em tempo real e projeções holográficas. Além disso, a tecnologia THz apresenta grande potencial para ser aplicada em dispositivos em nanoescala, permitindo a comunicação de alta velocidade em chips, bem como aplicações militares, de saúde e monitoramento ambiental. A comunicação Terahertz (THz) também é capaz de impulsionar o avanço das cidades inteligentes, conforme ilustrado na Figura 3. Nesses ambientes, diversos sistemas, incluindo transporte, energia e saúde, podem ser interligados e aprimorados para alcançar níveis máximos de eficiência.

No entanto, a comunicação em frequências de THz enfrenta alguns desafios, como alcance de transmissão limitado e elevado consumo de energia, exigindo soluções inovadoras para uma implementação eficaz.



Figura 3. Utilização da faixa de THz em cidades inteligentes.

Com o objetivo de tornar as aplicações em THz uma realidade, os pesquisadores estão explorando diferentes abordagens. Isso inclui o desenvolvimento de antenas e transceptores para operar eficientemente na banda de THz, bem como a aplicação de técnicas de modulação adaptativa, essenciais para otimizar o desempenho da rede. Estas técnicas permitem ajustar dinamicamente a transmissão de dados às condições variáveis do canal, maximizando assim a taxa de transferência de dados.

2.3 Comunicação por Luz Visível

Outra tecnologia de grande relevância nas redes 6G é a Comunicação por Luz Visível (VLC, *Visible Light Communication*), que utiliza a modulação de ondas de luz na faixa do espectro visível para a transmissão de dados. A VLC faz uso do espectro de luz visível, que abrange a faixa de frequência da luz percebida pelo olho humano, que vai de cerca de 400 a 800 THz. Essa tecnologia também é capaz de proporcionar taxas de transferência de dados em alta velocidade e apresenta aplicabilidade em locais onde a comunicação sem fio convencional não é viável, como ambientes subaquáticos e no espaço. Adicionalmente, a VLC encontra aplicação em comunicações veiculares, facilitando a comunicação entre veículos. Também pode ser aplicada em sistemas de navegação interna, melhorando a orientação e localização em ambientes fechados, como shoppings e aeroportos. Outro campo promissor para a VLC é a oferta de serviços baseados em localização, que permite aos usuários acessar informações personalizadas, de acordo com sua localização, enriquecendo a experiência do usuário em diversos cenários, conforme apresentado na Figura 4.



Figura 4. Aplicação da VLC em serviços baseados em localização, ilustrando a transmissão de dados personalizados através de uma fonte de luz para dispositivos móveis de usuários em ambientes urbanos.

Apesar das vantagens notáveis, a VLC lida com algumas dificuldades. Uma delas é a necessidade de que o transmissor e o receptor estejam em linha de visada direta, sem obstruções, para garantir a eficácia da comunicação. Também é importante considerar a preocupação com a possibilidade de interferência causada por fontes de luz externas. Estudos estão sendo realizados para enfrentar esses desafios, incluindo o desenvolvimento de sistemas de comunicação híbridos que combinam a VLC com a comunicação sem fio tradicional e o uso de técnicas avançadas de processamento de sinais para reduzir a interferência.

2.4 Ultra-Massivo MIMO

A tecnologia de MIMO (*Multiple-Input, Multiple-Output*) massivo está despontando como um habilitador central das futuras redes 6G. O conceito fundamental por trás do MIMO é a utilização de várias antenas tanto no transmissor quanto no receptor para aprimorar a qualidade da comunicação e aumentar a taxa de transferência de dados. Por sua vez, o MIMO massivo vai além, empregando conjuntos consideráveis de antenas com o propósito de ampliar significativamente a capacidade e a eficácia das redes sem fio. O MIMO massivo é caracterizado pelo uso de um grande número de antenas, geralmente variando de dezenas a centenas, para atender a cada usuário de forma eficiente. Quando esse número de antenas cresce ainda mais, chegando a milhares, a tecnologia é categorizada como ultra-massivo MIMO. O ultra-massivo MIMO pode fornecer feixes espaciais e é adequado para faixas de frequência na ordem de THz. Essa tecnologia pode ser empregada para atender às necessidades de áreas urbanas de alta densidade e outros ambientes com elevada demanda por conectividade sem fio. A Figura 5 ilustra o ultra-massivo MIMO, composto por matrizes de múltiplas antenas localizadas em diferentes infraestruturas, com a capacidade de atender vários usuários simultaneamente.

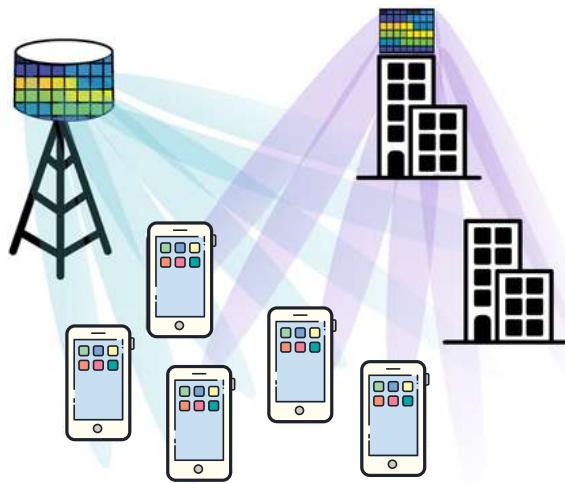


Figura 5. Exemplo do ultra-massivo MIMO.

As principais dificuldades na implementação do ultra-massivo MIMO para a tecnologia 6G residem na complexidade e no alto custo do hardware, no aumento do consumo de energia e na necessidade de infraestrutura especializada. Esses fatores exigem uma abordagem detalhada para assegurar uma implementação eficiente e de alto desempenho. A utilização de um grande número de antenas implica na necessidade de capacidades de processamento robustas, conversores de dados de alta velocidade e algoritmos avançados de processamento de sinais. Além disso, é necessário agrupar as antenas de forma densa para reduzir o acoplamento mútuo entre elas, uma interferência que pode prejudicar o desempenho do sistema. No entanto, esse agrupamento resulta em um aumento no tamanho físico e no peso total do sistema, impactando na instalação e manutenção, além de influenciar o projeto estrutural dos dispositivos que hospedam essas antenas. Para enfrentar esses desafios, estão em andamento diversas pesquisas focadas nas características do canal de transmissão, técnicas avançadas de modulação e outros aspectos, com o objetivo de desenvolver sistemas de MIMO massivo que sejam mais eficientes em termos energéticos e que se integrem de forma mais coesa com a infraestrutura de telecomunicações já existente.

2.5 Comunicação Quântica

A comunicação quântica baseia-se nos princípios da mecânica quântica, permitindo a transmissão segura e de alta velocidade das informações, assegurando a proteção e a confidencialidade das comunicações. A introdução das tecnologias de comunicação e computação quântica promete revolucionar a segurança das redes, estabelecendo canais de comunicação à prova de invasões na era 6G.

Essa inovação tem um amplo espectro de possíveis aplicações, abrangendo desde comunicações militares até transações financeiras e a transferência de dados sensíveis. A Figura 6 ilustra a aplicação da comunicação quântica na análise de dados, o que é relevante em diversos campos como ciência de dados, tecnologia da informação e pesquisa científica. Apesar de suas vantagens, a implementação da comunicação quântica nos sistemas 6G enfrenta alguns desafios.



Figura 6. Aplicação dos princípios quânticos na análise de dados.

Geralmente, os sistemas de comunicação quântica têm um alcance limitado devido aos efeitos de atenuação das fibras ópticas e à degradação do sinal. Isso significa que a implantação em grande escala de sistemas de comunicação quântica em redes 6G pode ser desafiadora, exigindo a utilização de novas tecnologias, como repetidores quânticos e amplificadores, para ampliar o alcance. Vários estudos estão sendo realizados para enfrentar essas dificuldades, incluindo o desenvolvimento de dispositivos de comunicação quântica compactos e de baixo custo, bem como a utilização das redes de fibra óptica já existentes para viabilizar a comunicação quântica em distâncias maiores.

2.6 Superfície Refletora Inteligente

A Superfície Refletora Inteligente (IRS, *Intelligent Reflecting Surface*) é uma tecnologia promissora na área de comunicações sem fio que utiliza superfícies compostas por elementos de reflexão passivos para direcionar e controlar sinais eletromagnéticos, como ondas de rádio e micro-ondas. Constituídos frequentemente de metamateriais, materiais com propriedades eletromagnéticas não encontradas na natureza, esses elementos refletores são programados e ajustados para direcionar de maneira inteligente os sinais de entrada, visando aprimorar a eficiência da comunicação sem fio. O principal objetivo da IRS é ampliar a capacidade das redes 6G, possibilitando que vários usuários transmitam e recebam sinais simultaneamente na mesma frequência, como demonstrada na Figura 7.



Figura 7. IRS em redes 6G. Aplicação em edifício urbano, direcionando e controlando sinais para permitir transmissões simultâneas, com o objetivo de ampliar a cobertura e a eficiência da rede em ambientes densamente conectados.

Além disso, a IRS busca reduzir o consumo de energia nas redes 6G, já que menos potência é necessária para alcançar os mesmos níveis de cobertura e desempenho, resultando em uma utilização mais eficiente do espectro disponível. Essa tecnologia tem a capacidade de melhorar a cobertura do sinal e reduzir interferências. Ao refletir e ajustar os sinais em tempo real, a IRS pode superar obstáculos e aumentar a intensidade do sinal, mesmo em ambientes desafiadores, como áreas urbanas ou espaços internos.

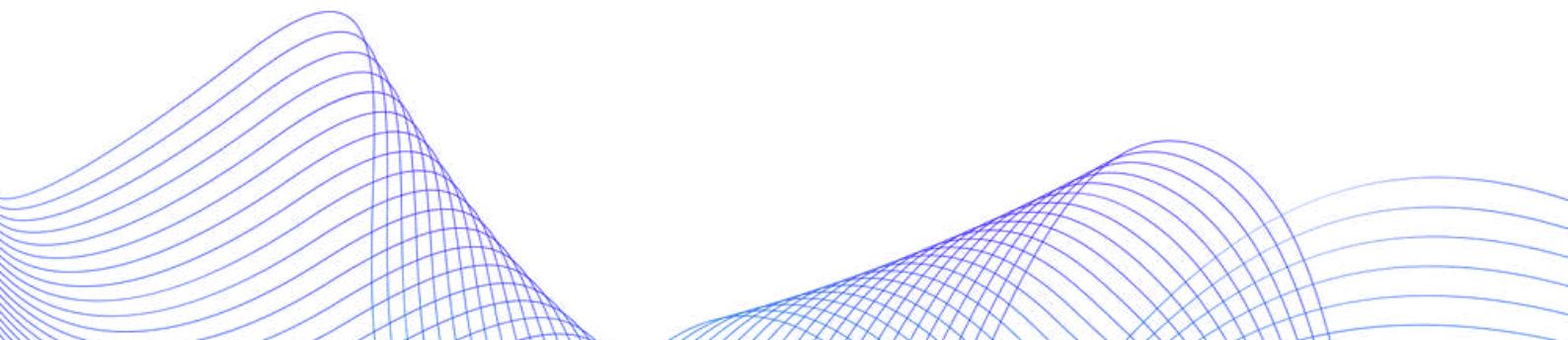
A implementação das IRSs em redes 6G enfrenta diversos desafios, incluindo a complexidade no processo de concepção, implantação e integração, bem como a dinamicidade dos ambientes envolvidos. Para superar esses obstáculos, várias abordagens têm sido desenvolvidas, como a aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina para otimizar a configuração das IRSs e a utilização de sensores sem fio e sistemas de posicionamento avançados para定位 os elementos refletivos com precisão.

2.7 RAN *Slicing*

O conceito de *Network Slicing* (Divisão de Rede) é uma abordagem inovadora na arquitetura de redes de comunicação que possibilita aos operadores a criação de várias redes logicamente independentes, aproveitando uma infraestrutura física compartilhada. Essas redes lógicas são denominadas *slices* (fatias) e podem ser configuradas para atender a uma variedade de usuários com requisitos distintos, ilustrados na Figura 8. As fatias se distinguem não apenas pelos recursos de tempo e frequência, mas também pela qualidade de serviço que proporcionam.

A RAN *Slicing* (Divisão de Rede de Acesso Rádio) envolve a criação de várias fatias virtuais na camada de acesso de rádio de uma infraestrutura de rede física compartilhada. Cada fatia representa uma rede lógica independente, com seus próprios recursos, como largura de banda, frequência e capacidade de processamento. Essas fatias podem ser configuradas e dimensionadas de acordo com as necessidades específicas de diferentes tipos de serviços e usuários.

A implementação da RAN *Slicing* viabilizará às indústrias verticais a implantação de suas próprias redes, obtendo uma parcela da infraestrutura da operadora a um preço justo.



No entanto, para atender a uma ampla variedade de requisitos através de diferentes fatias, a infraestrutura da rede 6G precisa ser projetada desde o princípio com prioridade na flexibilidade, simplicidade de configuração e gerenciamento. O principal desafio é configurar dinamicamente as diversas fatias de RAN e gerenciá-las com eficácia e agilidade.

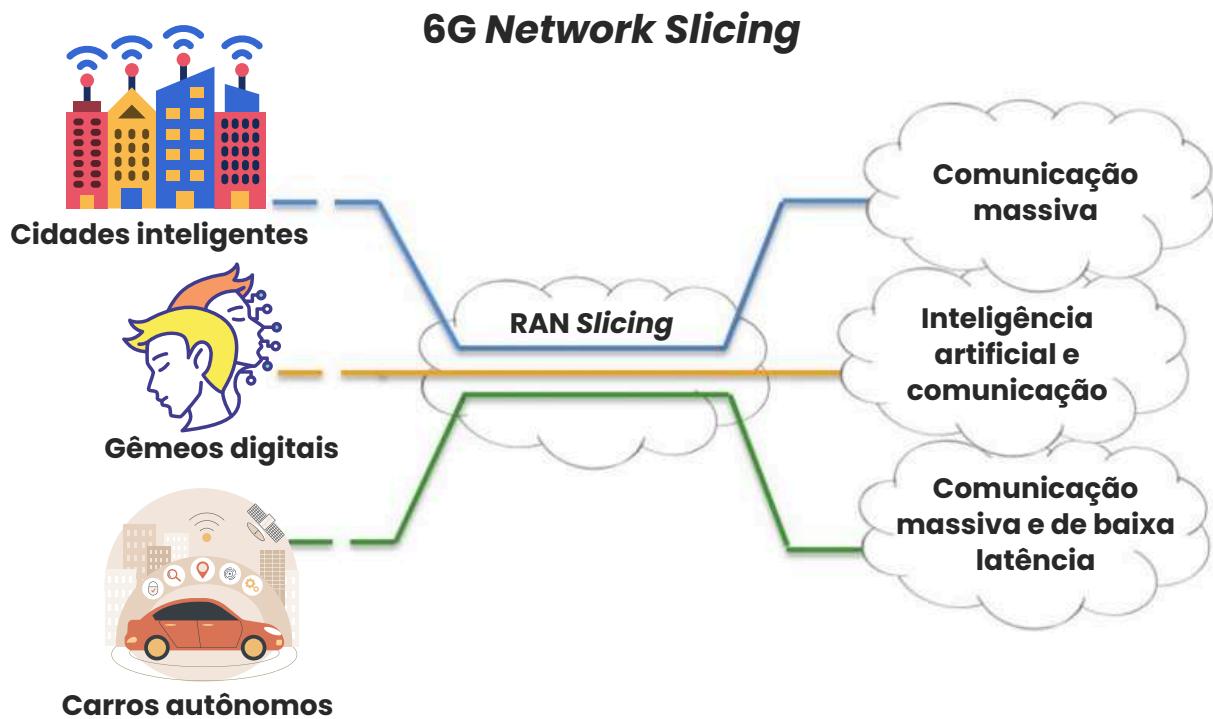


Figura 8. Network Slicing. Uso da RAN Slicing nas redes 6G, segmentando a rede para atender a diferentes tipos de serviços e cenários de uso.

2.8 Operação *Full Duplex*

A eficiência do espectro tornou-se uma capacidade de extrema importância nos sistemas de comunicação, devido à crescente concorrência por largura de banda, especialmente quando o espectro de RF é limitado e de alto custo. Dentre várias técnicas que podem aprimorar a eficiência e a capacidade, destaca-se a operação *Full Duplex*. A operação *Full Duplex* refere-se à capacidade de enviar e receber sinais simultaneamente na mesma frequência ou canal de comunicação, o que resulta em uma melhora significativa na eficiência e capacidade dos sistemas de comunicação. Essa capacidade teoricamente duplicada torna o *Full Duplex* uma tecnologia altamente competitiva e promissora para a próxima geração das redes móveis.

Entretanto, uma das principais dificuldades na implementação do *Full Duplex* é o gerenciamento eficaz da auto-interferência. Esse problema surge quando o sinal de transmissão de alta potência interfere no sinal de recepção de baixa potência. Na prática, isso ocorre porque o sinal transmitido, devido à sua alta potência, pode sobrecarregar significativamente o sinal de recepção, que geralmente é mais fraco, resultando em uma degradação na qualidade da comunicação.

Uma estratégia para lidar com a auto-interferência envolve o uso do Cancelamento de Interferência Sucessivo (SIC, *Successive Interference Cancellation*), que visa melhorar tanto a eficiência do espectro quanto a qualidade do sinal. Esta técnica é eficiente em ambientes onde múltiplos sinais são transmitidos simultaneamente. O SIC opera identificando e gradualmente eliminando os sinais de maior intensidade captados por um receptor. Após a eliminação de um sinal, o procedimento é repetido para o próximo sinal mais robusto, e esse ciclo se repete até que todos os sinais indesejados sejam eliminados e apenas o sinal desejado permaneça.

3. Conclusão

O desenvolvimento dos sistemas 6G promete transformações abrangentes em diversos setores. As tecnologias habilitadoras das redes 6G estão no centro dessa revolução, oferecendo soluções para aumentar a capacidade da rede e suportar uma variedade de serviços inovadores.

Embora enfrentem desafios, essas tecnologias estão sendo constantemente aprimoradas para garantir uma integração eficiente e de alto desempenho com as infraestruturas de telecomunicações existentes. O sucesso das redes 6G depende de uma abordagem multidisciplinar e colaborativa, envolvendo pesquisa contínua, desenvolvimento tecnológico e adaptação às exigências regulatórias.

As redes 6G têm o potencial de transformar a maneira como nos comunicamos e interagimos com o mundo ao nosso redor, impulsionando a inovação e melhorando a qualidade de vida em escala global.

