

1. Sistemas de Comunicação Celular – Overview

2. Fundamentos de Projeto de Sistemas Celulares

Reuso de frequências

Geometria de células, Canais e Capacidade do sistema, Fator de reuso co-canal, Estratégia para atribuição de canais

Estratégias de handoff

Priorização de handoff

Interferência e Capacidade do Sistema

Interferência co-canal, Cálculo da razão S/I, Planejamento de canais para sistemas wireless, Interferência entre canais adjacentes

Trunking e Grau de Serviço

Dimensionamento, Atrasos, Filas, Perdas de chamadas

Sistemas de Comunicação Celular



1G

- AMPS, NMT (analógica)
- Llamadas de voz y servicios básicos (caller ID, transferencia de llamadas, llamadas tripartitas)



2G

- TDMA, GSM, CDMA (digital)
- Todo lo que hay en 1G además de algunos servicios digitales como mensajes (SMS)



2.5G

- GSM, GPRS, EDGE (digital)
- 2G + mensajes multimedia, navegación básica
- Velocidad: ~200 Kbps



3G

- WCDMA, HSPA, HSPA+ (digital)
- 2.5G + mejor navegación, streaming de música, video
- Velocidad: 1 a 20 Mbps

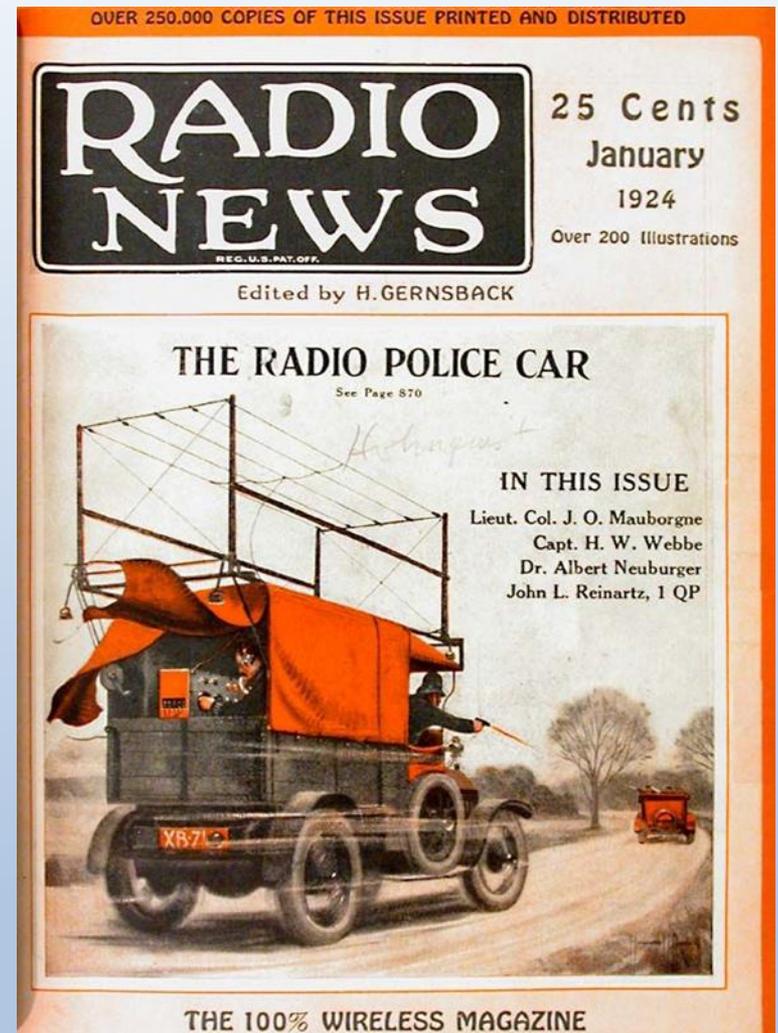


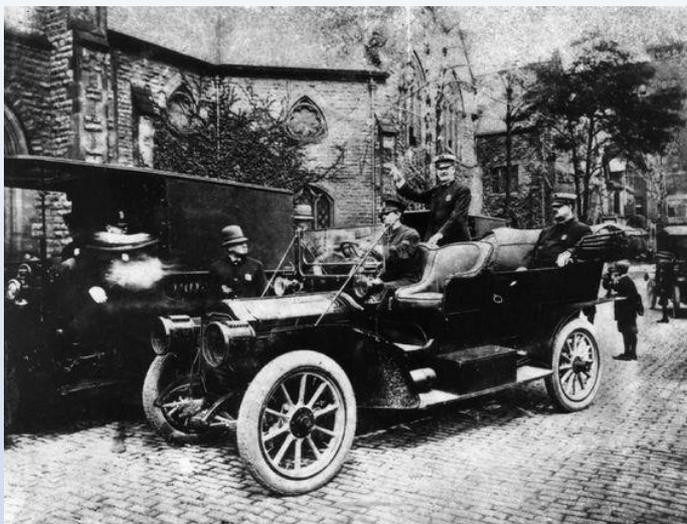
4G

- LTE, LTE Advanced (digital)
- 3G + todos los servicios de Internet actuales
- Velocidad: 10 a 100 Mbps

O fator determinante do surgimento da indústria de comunicações móveis foi a necessidade de segurança pública.

- **1921:** Primeiro uso de rádio-móvel em um automóvel: Depart. de Polícia de Detroit. Modulação AM.
- **1932:** Depart. de Polícia de New York: 5000 viaturas.
- **1935:** Edwin Armstrong propõe a Modulação em Frequência - melhora a transmissão e permite reduzir o tamanho dos equipamentos.

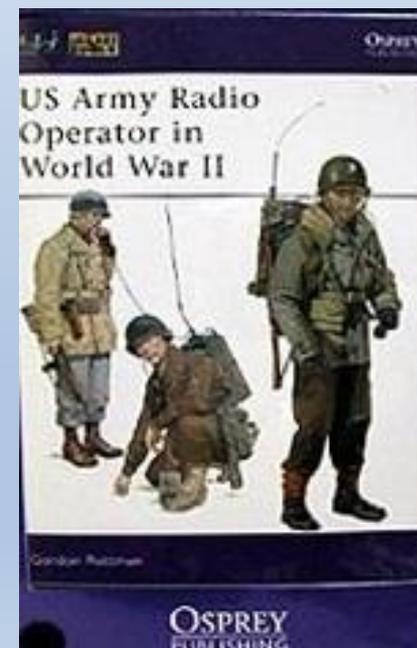




No entanto, a tecnologia existente não era suficiente para desenvolver equipamentos de pequenas dimensões e fácil manuseio, para uso em veículos automotivos.



A **WWII** acelerou as melhorias dos processos de **industrialização e miniaturização**, o que possibilitou o posterior desenvolvimento de sistemas de **rádio e televisão** dedicados aos consumidores em geral.



- **WWII até 60s** - A eficiência espectral aumentou apenas quatro vezes durante o período .
- **50s até 60s** - Nas décadas de 50 e 60 foi introduzido e implementado o conceito de *trunking* → *IMTS (Improved Mobile Telephone Service)*:
 - permite que um grande número de usuários divida o nº relativamente pequeno de canais, provendo acesso sob demanda a cada usuário,
 - após terminada a chamada, o canal previamente ocupado é imediatamente devolvido ao conjunto de canais disponíveis.

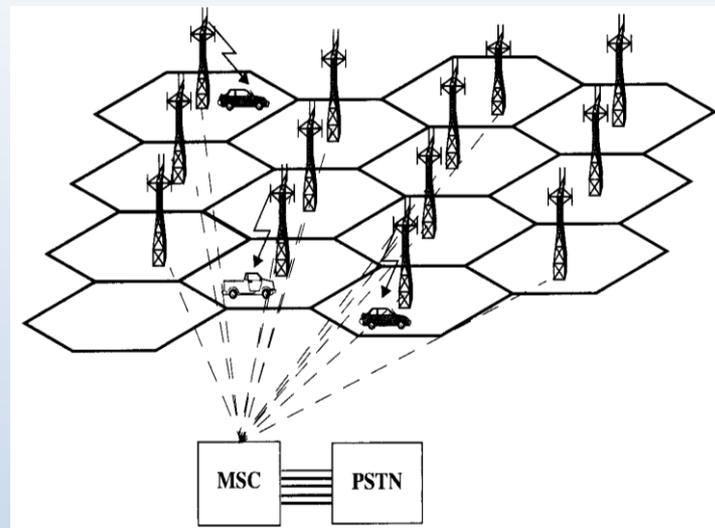
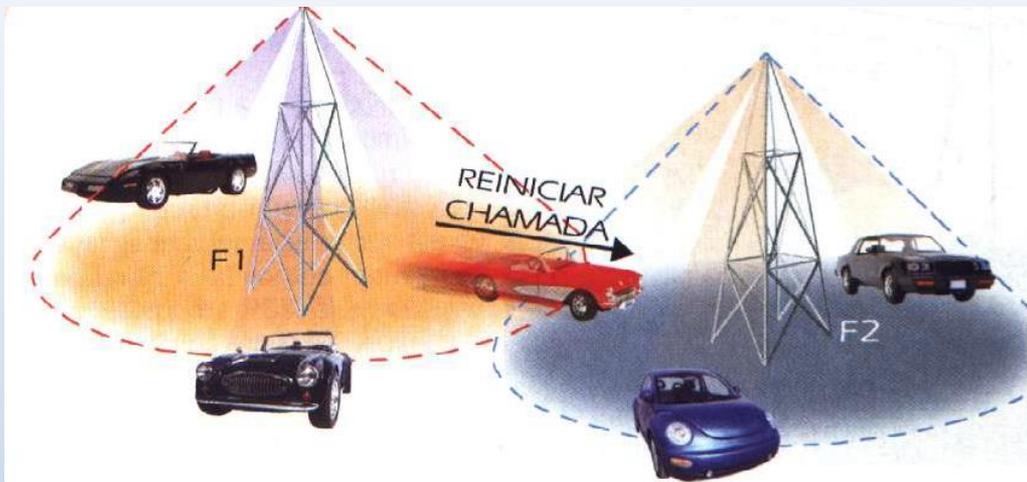
O conceito de *trunking* permitiu que as companhias de telefone começassem a oferecer sistemas de *telefonia full-duplex, com discagem e trunking automáticos*.

- **1968** – A **AT&T** propôs o conceito de um **sistema móvel celular**, com o intuito de melhor aproveitar o espectro de rádio-frequências, embora a tecnologia não estivesse disponível para implementação até o final dos anos 70.
- O conceito consiste em quebrar uma zona de cobertura em pequenas células, cada uma das quais reusando porções do espectro, para otimizar o uso do espectro, às custas de uma maior infra-estrutura de sistema.
- A ideia básica da alocação de espectro do rádio-celular é similar àquela usada pelo FCC (*Federal Communications Commission*) quando aloca estações de televisão ou estações de rádio com diferentes canais em uma determinada região do país, e então realoca aqueles mesmos canais para diferentes estações em regiões diferentes do país (distantes).

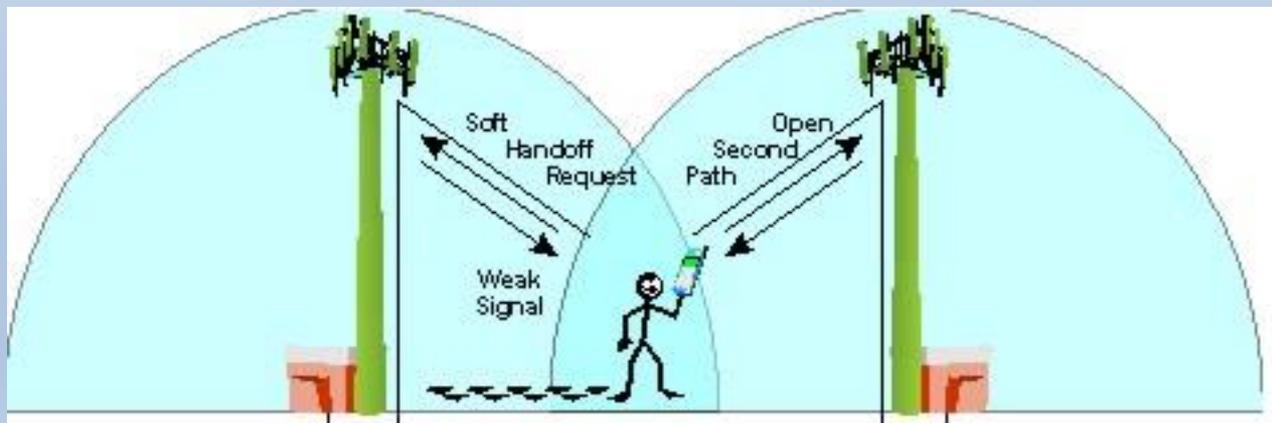
O conceito de telefonia celular baseia-se no reuso dos mesmos canais dentro do mesmo mercado ou área de serviço.

- Os canais são reusados apenas quando há uma **distância suficiente** entre os transmissores, para que sejam **evitadas interferências**.
- O sistema propõe:
 - "**ampliar**" o número limitado de frequências de rádio disponíveis para o serviço móvel,
 - através do "**espalhamento**" de múltiplos transmissores de baixa potência sobre uma região metropolitana e
 - "**passar adiante**" as chamadas, de transmissor a transmissor, à medida que o usuário móvel se deslocasse ao longo da região.

Sistema móvel não celular



Sistema móvel celular



- **1979** – Implementação do **primeiro sistema de comunicações celulares no mundo**, desenvolvido pela *Nippon Telephone and Telegraph Company* (NTT), no Japão. O sistema usa 600 canais duplex de FM (25 kHz para cada link unidirecional) na banda de 800 MHz.
- **1981** – O sistema *Nordic Mobile Telephone* (NMT 450) foi desenvolvido na Europa, para a banda de 450 MHz e usa canais de 25kHz.
- **1983** – AT&T lança **Celular AMPS** (*Advanced Mobile Phone System*) em Chicago. O FCC alocou **666 canais duplex** (40 MHz de espectro, na banda de 800 MHz, cada canal tendo uma largura de banda de 30 kHz para uma ocupação total de espectro de 60 kHz para cada canal *duplex*).

Telefone celular
analógico
portátil



Nokia - Mobira Senator,
pesava 9.8kg, 1984.

Motorola DynaTAC 8000x, também
conhecido como "tijolão", 1984.

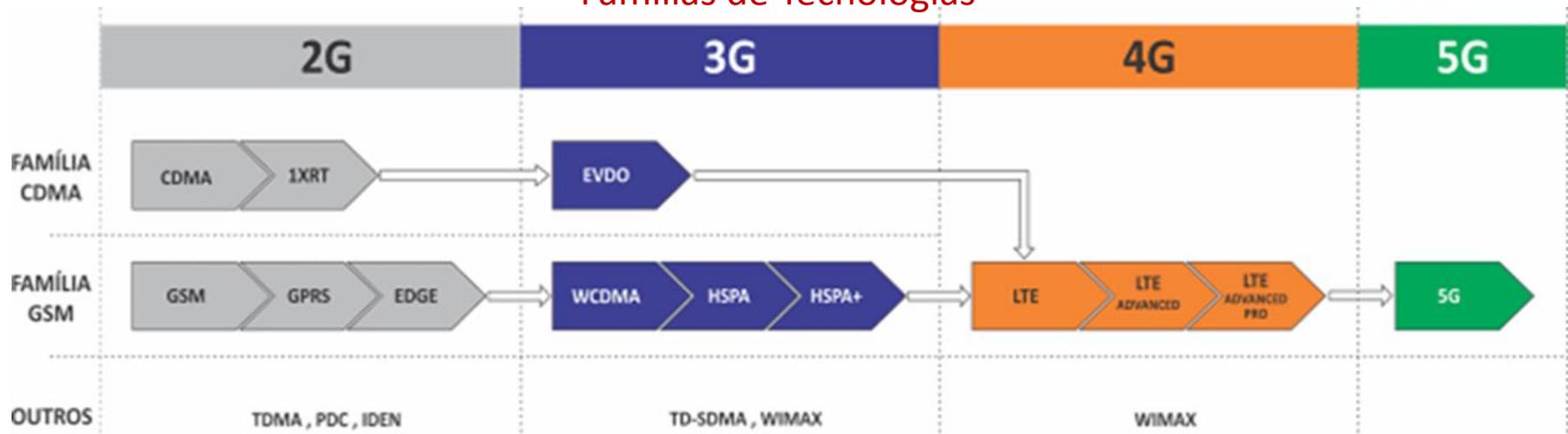
- **1985** – O *European Total Access Cellular System* (ETACS) é implementado, e é virtualmente idêntico ao sistema AMPS, exceto pelo fato de que canais de menor largura de banda resultam em uma leve degradação da relação sinal-ruído e alcance de cobertura.
- **1985** – O padrão C-450 é introduzido na Alemanha.
- Os sistemas celulares de primeira geração europeus são incompatíveis entre si devido às diferentes frequências e protocolos de comunicação utilizados. Foram instaladas redes analógicas específicas em cada país europeu, de tal forma que os aparelhos só podiam ser utilizados no próprio país, inviabilizando o roaming.
- O isolamento dos vários sistemas começou desde cedo a preocupar os responsáveis, conscientes dos problemas que iriam surgir no futuro.
- A própria capacidade das redes era limitada, devido ao fato de ser analógica e de não poder suportar durante muito tempo o aumento crescente do número de utilizadores.

- O padrão celular digital **GSM** (*Global System For Mobile Communications*) Pan European foi desenvolvido, em primeira linha, para solucionar o problema de incompatibilidade.
- O GSM foi lançado na segunda metade de 1992 e, no mesmo ano, o primeiro acordo de roaming foi assinado entre a Telecom Finland e a Vodafone no Reino Unido.
- No fim de 1993, já existiam um milhão de utilizadores GSM na Europa, com 70 membros, oriundos de 48 países, tendo sido assinados 25 acordos de roaming.
- O padrão GSM obteve aceitação mundial como o primeiro sistema de celular digital universal.
- Após a digitalização dos sistemas de telefonia celulares iniciou a crescente demanda pela inclusão dos serviços de dados, seguidos por imagens e vídeos, demandando o desenvolvimento de novos sistemas cujas características técnicas viabilizassem altas taxas de transmissão.

Gerações de Sistemas Celulares

1G	Sistemas analógicos como o AMPS.
2G	Sistemas digitais como o GSM, CDMA (IS-95-A) ou TDMA IS-136. O GSM e o CDMA possuem extensões que permitem a oferta de serviços de dados por pacotes sem necessidade de estabelecimento de uma conexão (conexão permanente) a taxas de até 144 kbps. As principais são o GPRS e o EDGE para o GSM e o 1XRTT para o CDMA.
3G	Os principais sistemas são o WCDMA/HSPA e o CDMA EVDO. Sistemas celulares que oferecem serviços de dados por pacotes e taxas maiores que 256 kbps.
4G	O LTE Advanced e o WiMAX foram as tecnologias aceitas como 4G pela ITU. Sistemas projetados para oferecer taxas de download de 100Mbps com o usuário em movimento e 1Gbps com o usuário parado. A taxa de uplink é de até 500Mbps. Apresenta também redução da latência. A denominação 4,5G está associada ao LTE Advanced Pro especificado pelo 3GPP em out/16. O sistema possui taxas máximas de download e upload superiores a 3 Gbps e 1.5 Gbps, respectivamente, além de possuir uma latência muito menor.
5G	Novas aplicações: IoT Massivo, IoT (aplicações críticas) e acesso Banda Larga Wireless Fixo (1 Gbps).

Famílias de Tecnologias



GSM – Global System for Mobile Communications

- Sistema FDMA/TDMA com FDD
- Utiliza até 8 slots em cada canal
- Bandas de frequências: 900 / 1800 / 1900 MHz
- Separação canais duplex: 45 / 95 / 80 MHz
- Modulação: GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*)
- Voz: RPE-LPC (*Regular Pulse Excited - Linear Predictive Codec*)
- Erros na transmissão são tratados através de:
 - Códigos de bloco e convolucionais
 - *Interleaving* para combater erros emrajadas



- Redes com recursos de **comutação de pacotes de dados** (o canal permanece ocupado apenas quando dados são transferidos).
 - GPRS (*General Packet Radio Service*)
 - EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*)
- Sistemas desenvolvidos para **aumentar a taxa de transmissão de dados** para suporte a aplicações internet .
- A velocidade da internet móvel é maior (pode chegar à taxa teórica de 144 kbps, mas alcança na média cerca de 70 kbps) e a grande diferença é a adoção da tecnologia de pacotes.

- Permite definir diferentes **níveis de qualidade de serviço**.
- **Transmite somente quando há tráfego e disponibilidade de recursos.**
- **Tarifação baseada em volume de informação.**
- Estabelecimento de conexão mais rápido.
- Utiliza múltiplos *slots* (máximo de oito), mas como trabalha com comutação de pacotes, *slots* permanecem ocupados apenas quando há envio ou recebimento de dados.
- Maioria das operadoras não cobra por tempo de uso do acesso à internet, mas sim por quantidade de dados transferido.

- Utiliza **múltiplos slots** nas conexões.
- Utiliza modulação **GMSK e 8-PSK**:
 - GMSK usa 1 bit, podendo gerar 2 símbolos diferentes.
 - 8-PSK usa 3 bits, podendo gerar 8 símbolos diferentes.
- 8-PSK permite **transmissões de dados 3 vezes maiores** que a GMSK.
- Utiliza nove esquemas de **codificação do canal de voz**.
- Os diferentes modos de se codificar os canais são otimizações visando a **diminuição de erros e o aumento da taxa de transmissão de dados**.

- Redes Móveis Digitais de 3ª Geração
- Combina **internet móvel** de alta velocidade com **serviços baseados em IP** (Internet Protocol).
- A terceira geração é padronizada pela ITU.
- A ideia principal do 3G é a de fazer com que os usuários possam ter **acesso móvel à internet com qualidade similar às conexões fixas** de banda larga, de forma a conseguir aproveitar recursos como streaming de vídeo, aplicações de áudio, mensagens multimídia, entre outros.
 - CDMA-2000
 - UMTS (W-CDMA)
 - HSPA (HSDPA e HSUPA)

- Utiliza a técnica de *Code Division Multiple Access*, desenvolvido pela Qualcomm, Inc. Este sistema permite um número variável de usuários em canais de 1.25 MHz, usando *Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)*.
- Permite aproximadamente o dobro de conexões para voz do que as primeiras versões do CDMA.
- Capacidade de trabalhar com taxas de transferência de dados de até 144 Kb/s (307 Kb/s na teoria), com o *upload* ficando praticamente na mesmo nível de velocidade
- Modulação *QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)*.
- Utiliza códigos *convolucionais* para correção de erros.

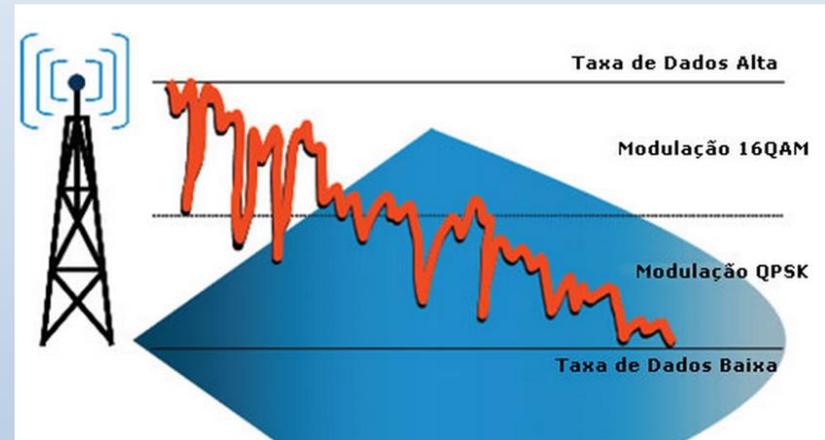
- W-CDMA - *Wideband Code Division Multiple Access*.
- Espalhamento espectral por sequência direta.
- Taxas teóricas de 2 Mb/s para *download* e para *upload* (real \cong 384 kbps).
- Largura de banda de 5 MHz (contra 1,25 MHz do CDMA-2000).
- Usa TDD e FDD .
- Vantagens:
 - Acesso múltiplo e robustez frente à interferência multipercurso.
 - Segurança pelo código de espalhamento.
- Desvantagens:
 - Interferência mútua entre terminais limita a capacidade.
 - Necessidade de controle de potência para que os terminais móveis mais próximos não constituam interferência para os mais afastados.

HSPA (HSDPA / HSUPA)

- O HSPA tem como base dois protocolos:
 - HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*)
 - HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*)

- Portadoras de **5 MHz**.

- Canal de transmissão compartilhado, o que resulta em uso eficiente dos recursos de codificação e potência do W-CDMA.

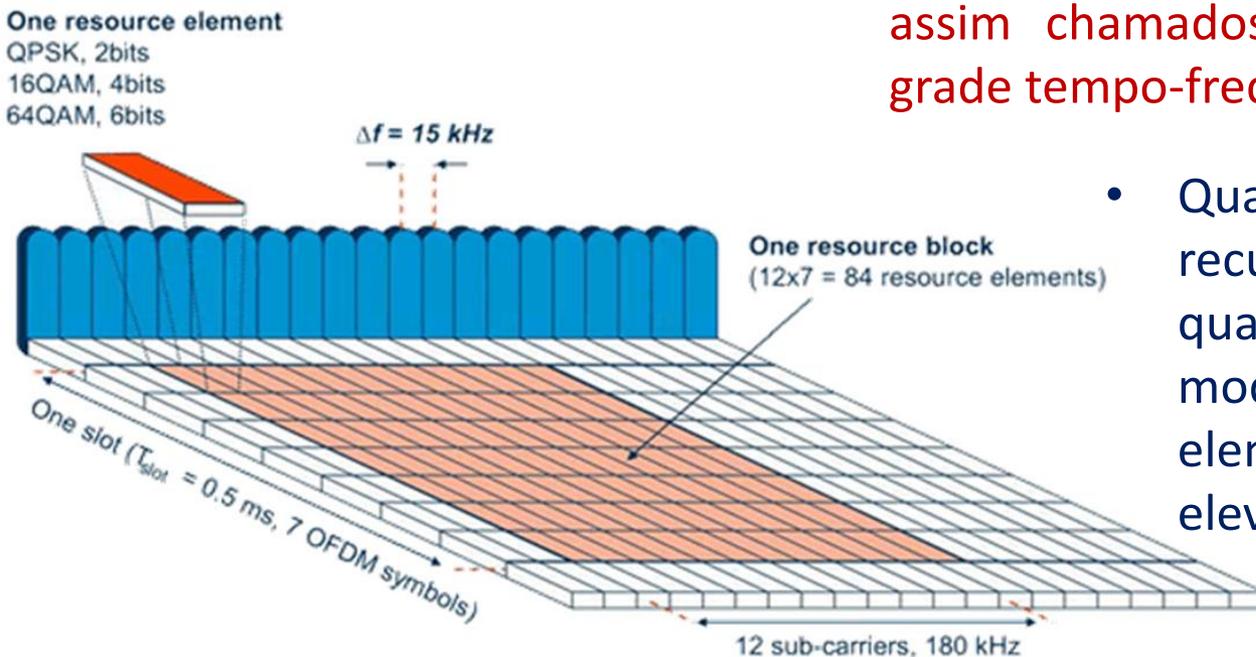


- Modulação **16QAM** (*Quadrature Amplitude Modulation*) e **QPSK** (*Quadrature Phase Shift Keying*).
- **Enlace adaptativo**: ajusta instantaneamente os parâmetros de transmissão de acordo com as informações enviadas pelo terminal de usuário e, quando as condições de propagação do canal permitem, habilita o uso de modulação de alta ordem.

- Pode atingir taxas de 300 Mb/s para download e 75 Mb/s para upload.
- Suporta portadoras com **largura de banda flexível**: 1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz, nos modos **FDD e TDD**.
- **Downlink: OFDMA** (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*): distribui as informações da transmissões entre diversos subconjuntos paralelos de portadoras.
- **Uplink: SC-FDMA** (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*): é uma técnica semelhante ao OFDMA, mas que **reduz o consumo de potência**, fazendo com que o uso de energia por parte dos dispositivos conectados também diminua. Apesar do nome, o SC-FDMA também pode utilizar subconjuntos de portadoras. Pode funcionar em várias faixas de frequências.

Long Term Evolution - LTE

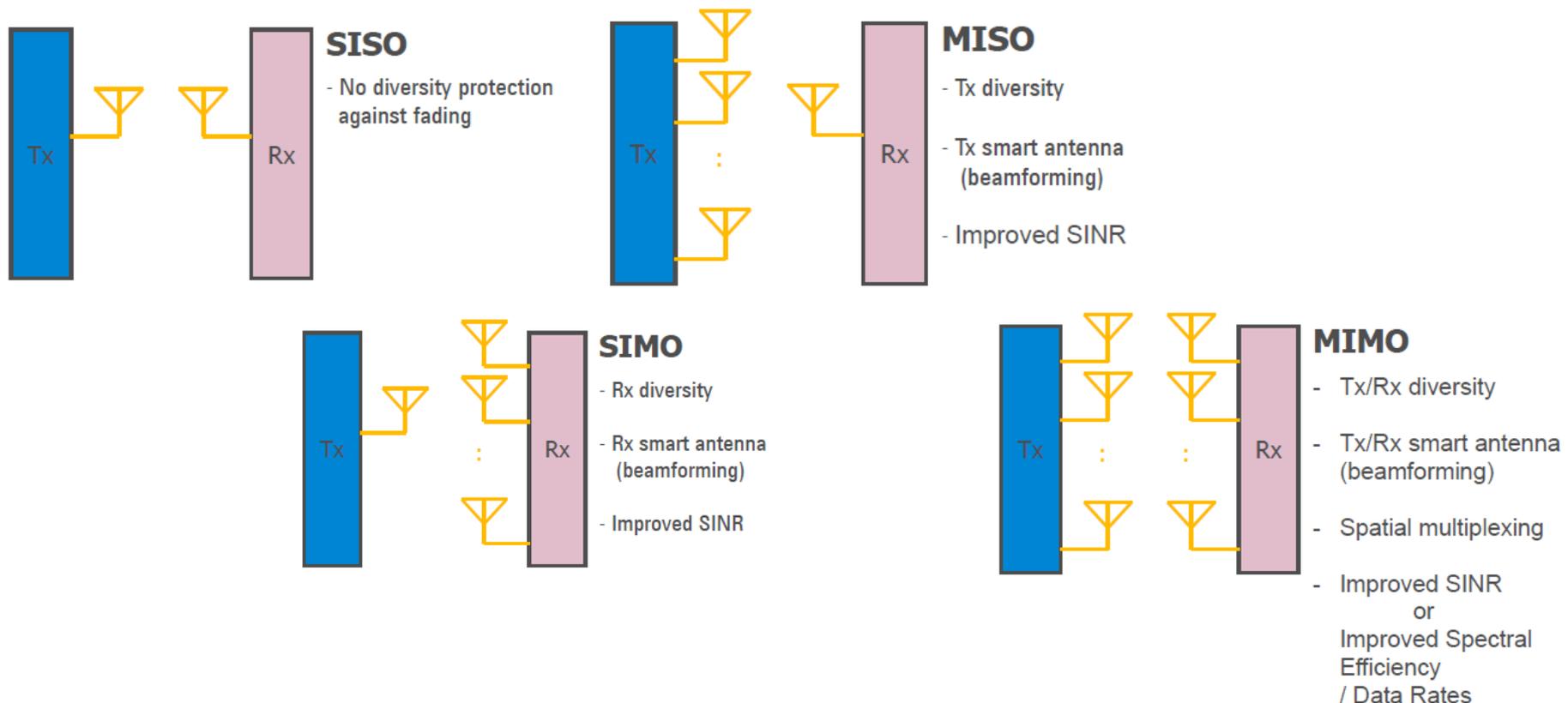
- Modulação: **QPSK, 16QAM ou 64QAM**. Com 64QAM, cada elemento de recurso transporta 6 bits.
- Os símbolos OFDM são agrupados em **blocos de recursos**, que têm um tamanho total de **180kHz** no domínio da frequência e **0,5ms** no domínio do tempo. Cada TTI – intervalo de tempo de transmissão de 1ms consiste de dois slots (Tslot).
- A cada usuário é alocado um número dos assim chamados blocos de recurso, na grade tempo-frequência.



- Quanto mais blocos de recurso um usuário recebe, e quanto mais alta a modulação usada nos elementos de recurso, mais elevada será a taxa de bit.

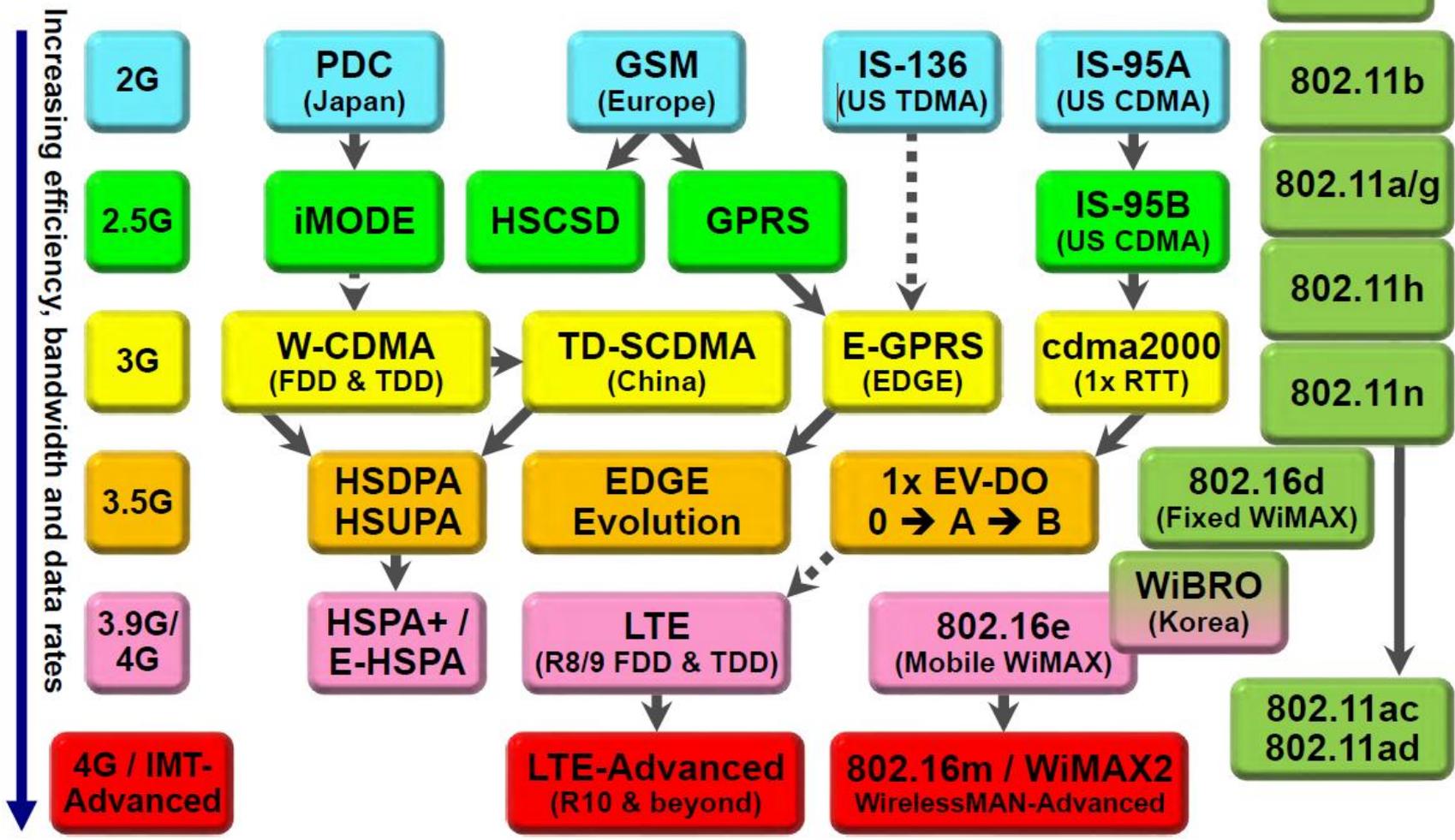
Long Term Evolution - LTE

- São adotadas soluções avançadas de arranjos de antenas.
- **Taxas de dados elevadas** podem ser atingidas com soluções de antenas multicamadas, como o **MIMO – Multiple Input Multiple Output** 2x2 ou 4x4
- Cobertura estendida pode ser atingida com *beamforming*.

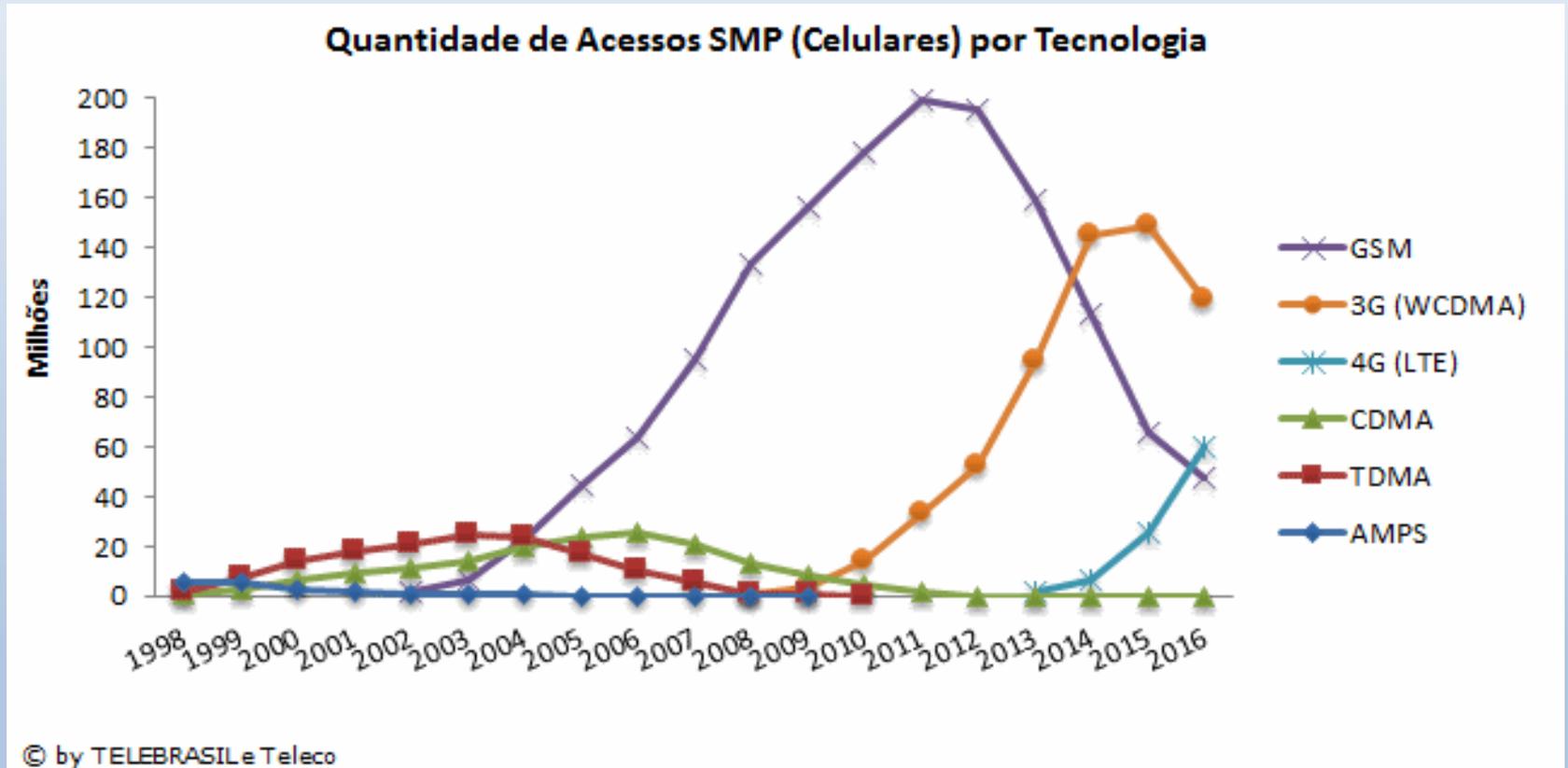


Cellular Evolution 1990 - 2014

 Technology evolution
 Market evolution



Evolução das tecnologias de celular no Brasil



Next Generation 5G

- A próxima geração de redes wireless 5G impulsionará o desenvolvimento de outras novas tecnologias, como veículos autônomos, realidade virtual e Internet das coisas.
- As redes 5G suportarão 1000 vezes mais tráfego do que as redes atuais e serão 10x mais rápidas do que as redes 4G LTE.



As conexões 5G obtidas em laboratório chegam a ser até 250 vezes mais rápidas do que as redes atuais, com **velocidades médias de 20 Gbps** (gigabits por segundo) - download mais rápido do que as atuais redes fixas de fibra óptica.

Mais que a velocidade de upload e download, a principal melhora introduzida com o 5G é a **redução da latência**. Quanto mais baixa a latência, mais rápida será a reação do aparelho que acionaremos à distância (tempo de resposta). No 4G, esse *delay* é de 10 milissegundos, o 5G o reduz a um milissegundo.

Graças à redução da latência, será possível aprimorar a **Internet das Coisas**. Atualmente, há sete bilhões de dispositivos conectados à Internet. A previsão para 2025, com a IoT generalizada, é de 100 bilhões de aparelhos conectados.

O 5G permite **aproveitar com mais eficiência a banda de frequências** e multiplicar por 100 o número de dispositivos conectados. Também **reduz em 90% o consumo de energia da rede**, permitindo que as baterias de aparelhos como alarmes e sensores durem até 10 anos.

O 5G será uma tecnologia fundamental para a digitalização industrial ao gerar e fomentar casos de uso como fabricação robotizada e inteligente, jogos e entretenimento imersivos, direção autônoma, cirurgia remota, vídeo de ultra-alta definição (UHD) e automatização de processos industriais.

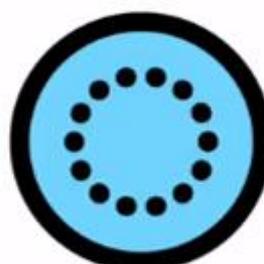
Tecnologias para 5G



**Millimeter
Waves**



Small Cell



**Massive
MIMO**



Beamforming



Full Duplex

As tecnologias para as redes 5G ultra-velozes não estão ainda completamente definidas, mas a concepção do sistema é baseada no uso de **ondas milimétricas**, **massive MIMO**, **full duplex**, **beamforming** e **small cells**.

Ondas milimétricas

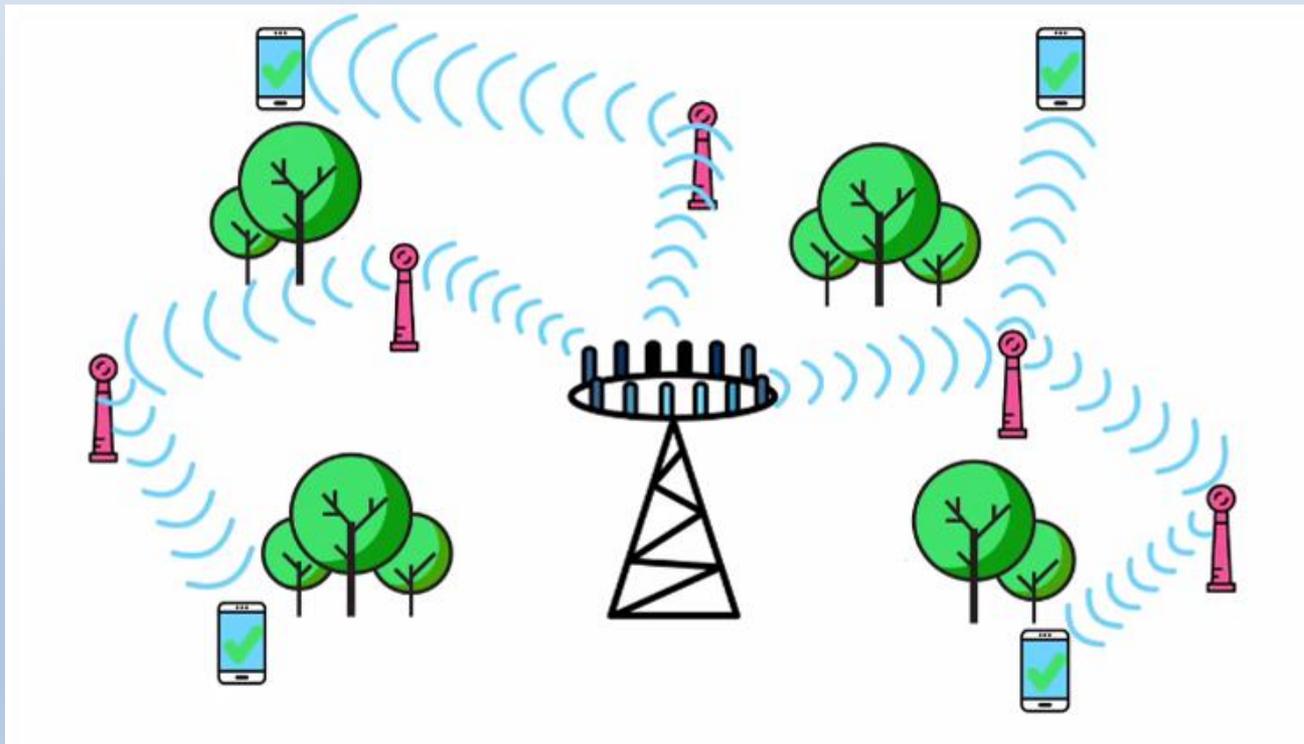
- As redes sem fio de hoje enfrentam um problema: **as bandas do espectro de radiofrequências utilizadas estão no limite de sua capacidade**. Isso significa menos largura de banda para todos, causando um serviço mais lento e mais conexões descartadas.
- Uma maneira de contornar esse problema é transmitir sinais em uma nova faixa do espectro, que nunca foi usada para o serviço móvel antes, razão pela qual está sendo experimentada a **transmissão em ondas milimétricas**, que usam frequências mais altas do que as ondas de rádio atualmente utilizadas.
- Ondas milimétricas são transmitidas em **frequências entre 30 e 300 GHz**, em comparação com as atuais bandas utilizadas, abaixo de 6 GHz . O **comprimento de onda é da ordem de 1 a 10 mm**, em comparação com as atuais ondas de rádio utilizadas, de dezenas de centímetros de comprimento.
- Grande desvantagem do uso de ondas milimétricas: elas são **bloqueadas por prédios e obstáculos e absorvidas por vegetação e chuva**.

Redes de pequenas células

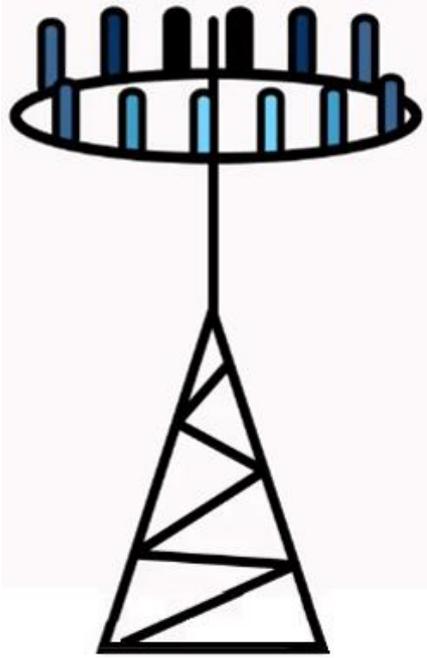
- É por isso que as redes 5G **aumentarão grandemente o número de células**, com relação às redes atuais sendo, no entanto, adotadas células **pequenas** (sem a necessidade de torres específicas para a rede).
- **As células pequenas são estações de base em miniatura, portáteis, que requerem energia mínima para operar e podem ser colocadas a cada 250 metros, em todas as regiões de utilização do sistema.**
- Para evitar que a conexão seja interrompida por obstáculos, serão instaladas milhares dessas estações para formar uma rede densa que atua como uma rede de retransmissão, recebendo sinais de outras estações de base e enviando dados para usuários em qualquer local.

Redes de pequenas células

As antenas em pequenas células podem ser muito menores do que as antenas tradicionais se estiverem transmitindo pequenas ondas milimétricas. Esta diferença de tamanho torna ainda mais fácil colocar células em postes de luz e sobre edifícios, não havendo a necessidade das enormes torres atualmente adotadas.



Massive MIMO

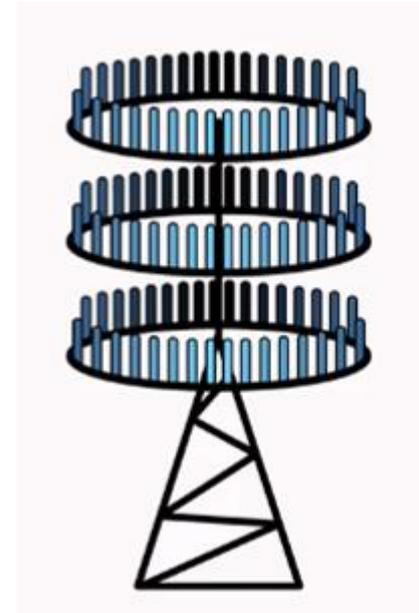
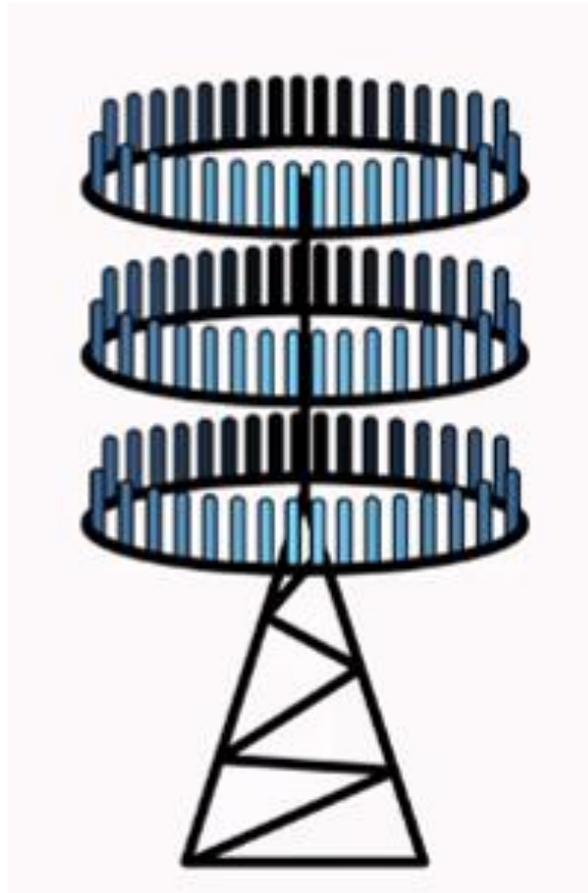
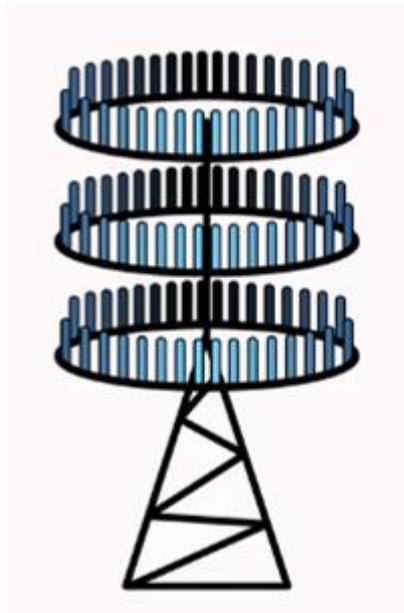


As estações de base 4G tem a capacidade de utilizar até 12 antenas que atendem todo o tráfego celular: oito para transmissores e quatro para receptores.



As estações base 5G poderão suportar cerca de 5 vezes mais antenas.

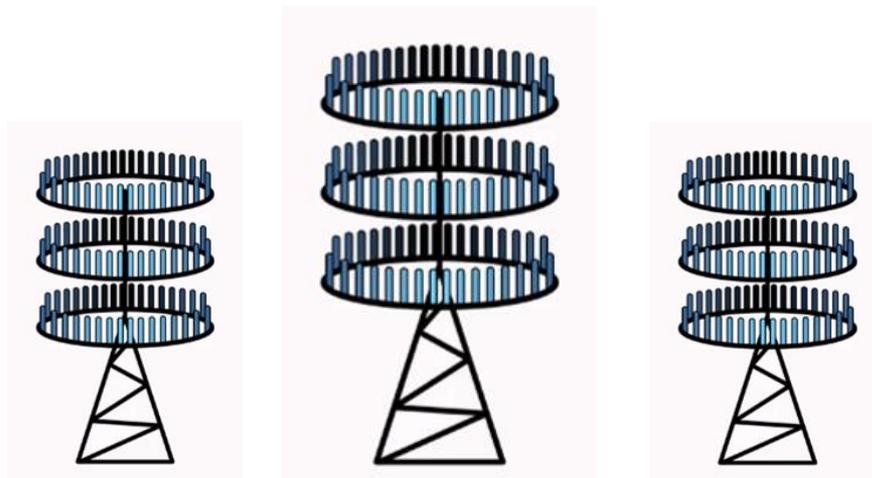
Massive MIMO



Essa capacidade significa que uma estação base poderia enviar e receber sinais de muitos outros usuários ao mesmo tempo, **aumentando a capacidade das redes móveis por um fator de 22 ou superior.** Esta tecnologia é chamada de *Massive MIMO*.

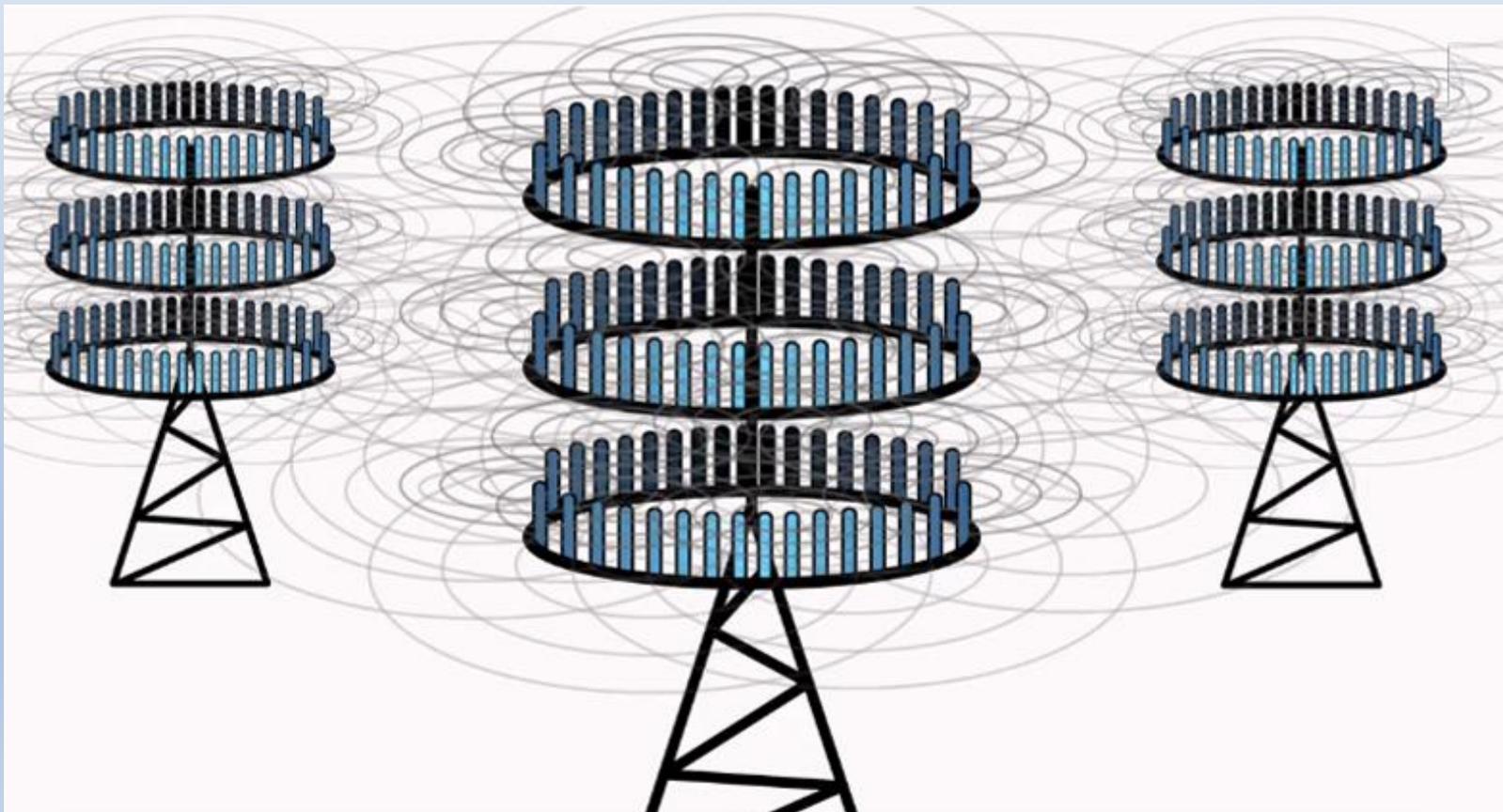
Massive MIMO

- O MIMO atualmente utilizado descreve sistemas sem fio que usam dois ou mais transmissores e receptores para enviar e receber mais dados ao mesmo tempo.
- O *Massive* MIMO usa dezenas de antenas e só foi testado em laboratórios e alguns ensaios de campo, até o momento.
- Nos primeiros testes, estabeleceu novos registros para a eficiência do espectro, que é uma medida de quantos bits de dados podem ser transmitidos para um certo número de usuários por segundo.



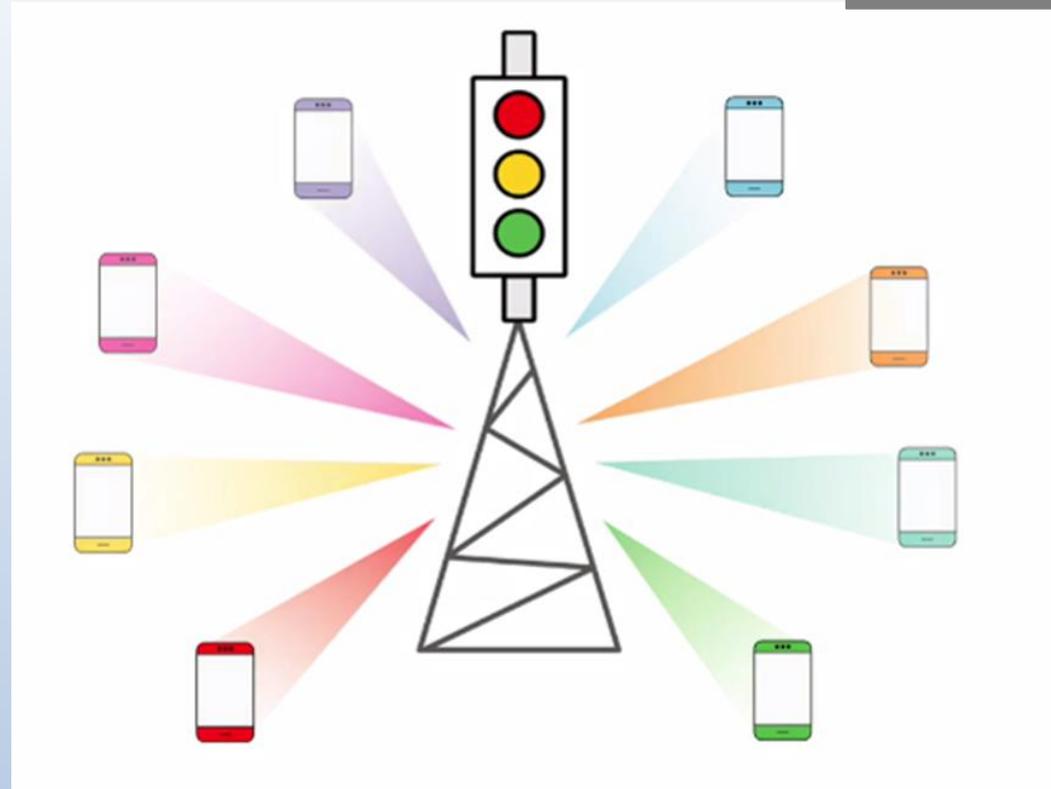
Massive MIMO

- No entanto, a instalação de muitas antenas para lidar com o tráfego celular também pode causar mais interferência.
- É por isso que as estações 5G devem incorporar a tecnologia *beamforming*.



Beamforming

Beamforming é um sistema para estações base celular que identifica a rota de entrega de dados mais eficiente para um determinado usuário, e reduz a interferência para usuários próximos no processo.



O *beamforming* adotado em redes *Massive MIMO* permite usar mais eficientemente o espectro, pois o principal desafio dos sistemas *Massive MIMO* é reduzir a interferência, ao mesmo tempo em que transmitem mais informações de muitas antenas ao mesmo tempo.

Nas estações de base *Massive MIMO*, os algoritmos de processamento de sinal traçam a melhor rota de transmissão wireless para cada usuário.

Os pacotes de dados são, então enviados em muitas direções diferentes, saltando de edifícios e outros objetos, onde estarão as pequenas células, em um padrão coordenado com precisão.

Ao coreografar os movimentos dos pacotes e o tempo de chegada, o *beamforming* permite que muitos usuários e antenas em uma enorme matriz MIMO troquem muito mais informações ao mesmo tempo.

No caso de ondas milimétricas, o *beamforming* é usado para resolver o problema do bloqueio do percurso por objetos. O *beamforming* pode ajudar focando um sinal em um feixe concentrado que aponta apenas na direção de um usuário, ao invés de transmitir em várias direções ao mesmo tempo.

Esta abordagem permite que o sinal chegue intacto, reduzindo também a interferência para todos os outros.

Full duplex

Além de aumentar as taxas de dados através da transmissão de ondas milimétricas e aumentar a eficiência do espectro com *Massive MIMO* maciço, o alto rendimento e a baixa latência necessária para 5G também contará com uma tecnologia chamada *full duplex*, que modifica a forma como o sistema entrega e recebe dados .

As estações de base e os celulares de hoje dependem de transceptores que devem se revezar para transmitir e receber informações sobre a mesma frequência, ou operar em diferentes frequências se um usuário deseja transmitir e receber informações ao mesmo tempo.

Na tecnologia 5G, um transceptor poderá transmitir e receber dados ao mesmo tempo, na mesma frequência. Esta tecnologia é conhecida como *full duplex*, e pode duplicar a capacidade das redes sem fio.

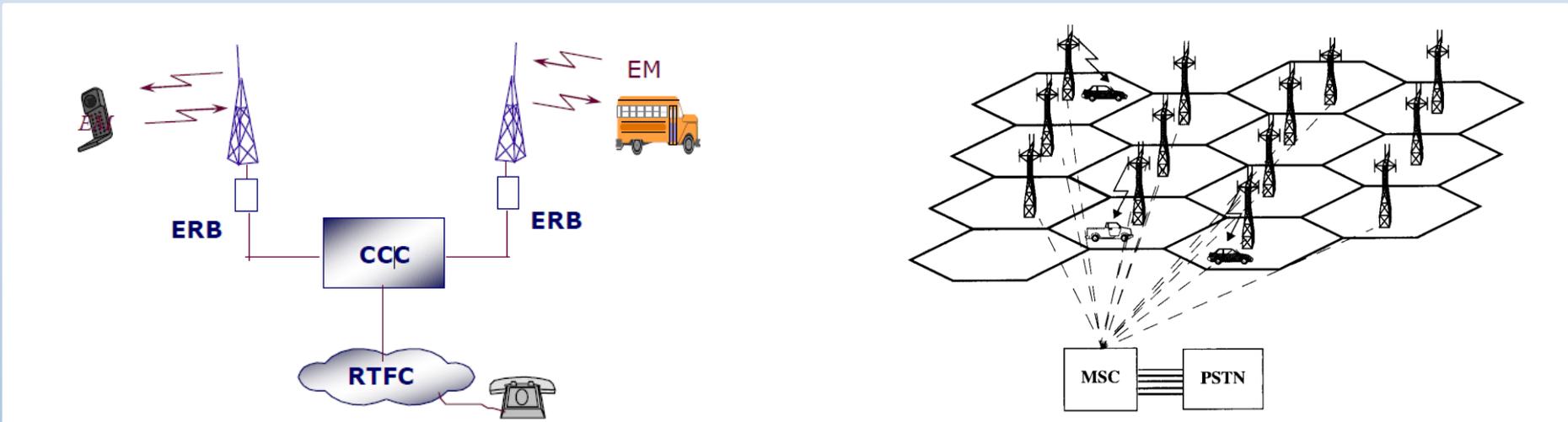
Para alcançar o *full duplex total* em dispositivos pessoais, será utilizado um tipo de roteamento (chaveamento) que evita a colisão entre os sinais recebidos e transmitidos ao mesmo tempo.

Uma desvantagem *full duplex* é a presença de ecos em decorrência da proximidade entre sinal recebido e sinal transmitido, sendo necessário adotar uma tecnologia especial de cancelamento de eco.

Sistema Celular

Um sistema básico celular consiste de:

- Estações Móveis (EM) ou *Mobile Stations (MS)*,
- Estações Rádio Base (ERB) e
- Centro de Comutação e Controle (CCC) ou, *Mobile Switching Center (MSC)*.



Cada usuário móvel se comunica via rádio com uma das estações base e pode ser repassado para um número qualquer de estações base, durante a duração de uma chamada.

Sistema Celular

- **Estações Móveis (EM):** um transceptor + uma antena + circuitos de controle.

São funções básicas das EMs:

- Prover a interface entre a EM e o sistema;
- Responder às instruções enviadas pelo sistema;
- Informar ao usuário a condição do sistema;
- Fazer a conversão dos sinais de áudio em RF e vice versa;
- Alertar o usuário sobre as chamadas entrantes;
- Alertar o sistema nas chamadas originadas;
- Registrar o usuário no sistema.

Sistema Celular

- Estações Rádio-Base (ERBs):

- Vários transmissores e receptores (RTS - *Radio Transceiver Station*), os quais lidam simultaneamente com comunicações *full-duplex*,
- Torres, as quais suportam várias antenas receptoras e transmissoras,
- Equipamento de interface com a CCC (MSC - *Mobile Switching Center*). A ERB serve como uma ponte entre os usuários móveis em uma célula e conectam as chamadas móveis simultaneamente, via sistemas cabeados ou *links* de microondas ao CCC.

São funções básicas da ERB:

- Receber as instruções da CCC;
- Prover a interface rádio entre as EMs e o sistema;
- Manter controle e informar as EMs em sua área de cobertura;
- Verificar e reportar a qualidade de sinal das chamadas em andamento.

Sistema Celular

- **Centro de Comutação e Controle (CCC):**
 - A CCC é a parte inteligente do sistema, que coordena todas as atividades de todas as estações base.
 - Faz o controle e comutação dos canais de telefonia móvel.
 - É o ponto de interconexão da rede celular com outras redes;
 - Monitora e controla as chamadas;
 - Comuta e controla o *hand off* das chamadas;
 - Interliga as várias ERBs do sistema;
 - Controla a tarifação das chamadas;
 - Administra o sistema;
 - Um CCC típico pode lidar com cem mil assinantes celulares e cinco mil conversações simultâneas.

Sistema Celular

Códigos de Identificação

- **MIN** (*Mobile Identification Number*):
 - Número que identifica a EM;
 - É utilizado o próprio número do assinante, com dez dígitos.
- **ESN** (*Electronic Serial Number*):
 - Número de série do aparelho celular;
- **SID** (*System Identity*):
 - É uma palavra de 15 bits que identifica o sistema.

Sistema Celular

A comunicação entre a ERB e os usuários móveis é definida por uma interface wireless que especifica quatro diferentes canais:

- **Canais de Voz:**
 - **FVC** – *Forward Voice Channels*: Canal usado para transmissão de voz da ERB para a ERM (canal de voz direto).
 - **RVC** – *Reverse Voice Channels*: Canal usado para transmissão de voz da ERM para a ERB (canal de voz reverso).
- **Canais de Controle:** Canal utilizado para troca de mensagens e dados do sistema com as EMs e vice versa. São canais de uso comum, para todos os usuários, responsáveis pelo controle das chamadas.
 - **FCC** – *Forward Control Channels*: canal de controle direto.
 - **RCC** – *Reverse Control Channels*: canal de controle reverso.

Sistema Celular

Características dos **canais de controle**:

- São chamados canais de *setup* porque são apenas envolvidos em estabelecer uma chamada e movê-la para um canal de voz que não esteja sendo utilizado.
- Transmitem e recebem mensagens de dados que portam a inicialização de chamadas e solicitação de serviços.
- São monitorados por usuários móveis quando eles não têm uma chamada em andamento.
- Servem como sinalizadores, os quais continuamente transmitem todas as requisições de tráfego para todos os usuários móveis no sistema.
- Mensagens de supervisão são enviadas para facilitar mudanças automáticas entre canais e repassar instruções para os usuários móveis antes e durante uma chamada.

Sistema Celular

Quando um telefone celular é ligado, mas ainda não está envolvido em uma chamada ele:

- **varre o grupo de canais de controle direto** para determinar aquele canal cujo sinal é mais forte;
- **monitora o canal de sinal mais forte** até que o sinal caia abaixo de um nível aceitável de uso;
- **novamente varre os canais de controle** na busca de um sinal mais forte de uma estação base.

Visto que canais de controle são padronizados (idênticos) através de diferentes mercados dentro de países ou continentes, cada telefone varre os mesmos canais quando desocupado, possibilitando identificação para operação em *roaming*.

Sistema Celular

Roaming

- Serviço provido por todos os sistemas de telefonia celular.
- **Permite aos assinantes operar em áreas de serviço diferentes daquela na qual o usuário é assinante.**
- Quando uma estação móvel entra em uma cidade ou área geográfica diferente daquela área de serviço da qual é assinante, ele é registrado como *roamer* na nova área de serviço.
- Esta operação é executada no canal de controle direto, desde que cada *roamer* está alojado em um canal de controle direto a qualquer instante.
- O CCC envia periodicamente um comando global sobre cada canal de controle direto do sistema solicitando a todas estações móveis que não estão previamente registradas a reportarem o seu número de telefone (MIN) e o seu número de série eletrônico (ESN) através do canal de controle reverso.

Sistema Celular

Roaming

- Estações móveis novas não registradas no sistema periodicamente enviam as informações solicitadas e o centro de comutação e controle então utiliza os dados MIN/ESN para solicitar tarifação de onde a estação móvel está registrada para cada estação móvel operando na modalidade de *roaming*.
- Se um particular *roamer* recebe autorização para roaming, o centro de comutação e controle registra o assinante como um usuário válido.
- Uma vez registrados, os usuários móveis em *roaming* estão habilitados a receber e realizar chamadas a partir daquela área e a taxa é automaticamente direcionada para o provedor onde o assinante está inscrito.

Sequência de eventos envolvidos na conexão de uma chamada dirigida a um usuário móvel

1. CCC dispara uma solicitação a todas as estações base no sistema celular.
2. MIN é transmitido como uma mensagem de *paging* por todos os CCD através do sistema celular.
3. Os receptores móveis recebem a mensagem de *paging* enviada pela estação base a qual está monitorando e o destinatário da chamada responde através de uma auto-identificação feita via CCR.
4. A estação base retransmite o sinal enviado pelo aparelho móvel e informa o CCC do estabelecimento da comunicação.
5. O CCC instrui a estação base para mover a chamada para um canal de voz que não esteja sendo utilizado dentro da célula.
6. A estação base sinaliza a estação móvel para mudar a frequência para um par de canais de voz direto e reverso disponível.

Sequência de eventos envolvidos na conexão de uma chamada dirigida a um usuário móvel

7. Uma outra mensagem de dados (chamada *alert*), é transmitida sobre o CVD direto para instruir o telefone móvel a chamar, portanto instruindo o usuário móvel a responder à chamada telefônica.

(Todos estes eventos ocorrem em um intervalo de poucos segundos e não são perceptíveis pelo usuário.)

8. Uma vez que a chamada esteja em progresso, o CCC muda o canal da unidade móvel e da estação base para manter a qualidade da chamada, à medida que o usuário se move dentro e fora da área de cobertura de cada estação base. Este procedimento é chamado *handoff*.
9. Uma sinalização especial de controle é aplicada aos canais de voz de tal forma que a unidade móvel possa ser controlada pela estação base e pelo centro de comutação e controle enquanto uma chamada está em progresso.

Sequência de eventos envolvidos na conexão de uma chamada iniciada por um usuário móvel

1. Uma solicitação de inicialização de chamada é enviada pelo CCR. Com esta solicitação, a unidade móvel transmite: MIN, ESN, o no. de telefone para o qual está sendo dirigida a chamada.
2. A ERB recebe este dado e o envia para o CCC.
3. O CCC valida a solicitação, estabelece a conexão com o parceiro na chamada rede pública de telefonia fixa, se for o caso, e instrui a ERB e a ERM a mover para um par de canais de voz direto e reverso (CVD e CVR) disponível, para permitir que a conversação inicie.

Áreas de um sistema celular

- **Área de Serviço:** área onde a EM tem acesso aos serviços móveis de uma operadora;
- **Área de Controle:** área sob supervisão de uma CCC;
- **Área de Localização:** área onde a EM pode mover-se sem atualização do registro;
- **Área de Cobertura:** extensão territorial atingida pelos sinais de uma ERB;
- **Área de Sombra:** locais dentro de uma área de serviço, em que obstáculos impedem a comunicação entre ERB/EM.

Tabela 1: definições de termos usados para descrever os elementos dos sistemas de comunicações wireless

Estação Móvel	Estações Rádio-Móveis (<i>Mobile Station</i> - MS ou, em português, ERM) são estações no serviço de rádio-celular usadas quando em movimento, em locais não especificados. MS podem ser unidades portáteis ou instaladas em veículos.
Estação Base	Estações Rádio-Base (<i>Base Station</i> - BS ou, em português, ERB) são estações fixas em um sistema de rádio-móvel, usadas para rádio-comunicações com MS. BS são localizadas no centro ou na borda de uma região de cobertura e consistem de canais de rádio e antenas transmissoras e receptoras montadas em uma torre.
Canal de Controle	Canais de Controle (<i>Control Channel</i> - CS) são canais de rádio usados para transmissões de inicialização de chamada (<i>call setup</i>), solicitação de chamada (<i>call request</i>), início de conversação (<i>call initiation</i>) e outros propósitos de sinalização (<i>beacon</i>) ou controle.
Canal Direto	Canais Diretos (<i>Forward Channel</i> - FC) são canais de rádio usados para transmissão de informação a partir da BS para a MS.
Canal Reverso	Canais Reversos (<i>Reverse Channel</i> - RC) são canais de rádio usados para transmissão de informação a partir da MS para a BS.

Tabela 1: definições de termos usados para descrever os elementos dos sistemas de comunicações wireless

Sistemas Full Duplex	Sistemas de comunicação que permitem comunicações simultâneas em dois sentidos. A transmissão e a recepção são realizadas tipicamente em dois canais diferentes (<i>FDD-Frequency Division Duplex</i> , embora novos sistemas <i>wireless/PCS</i> estejam usando <i>TDD-Time Division Duplex</i>).
Sistemas Half Duplex	Sistemas de comunicação que permitem comunicações em dois sentidos através do uso do mesmo canal de rádio tanto para transmissão quanto para recepção. Em qualquer instante de tempo, o usuário pode apenas transmitir ou receber informação.
Sistemas Simplex	Sistemas de comunicação que permitem comunicações em apenas um sentido.
Handoff	Processo de transferir uma MS de um canal ou BS para outro.
Centro de Comutação e Controle	O Centro de Comutação e Controle (CCC) coordena o roteamento de chamadas em uma grande área de serviço. Em um sistema de rádio-celular, o CCC (ou, em inglês, <i>Mobile Switching Center - MSC</i>) conecta as BS e as MS à rede de telefonia pública comutada (<i>Public Switched Telephone Network - PSTN</i>).

Tabela 1: definições de termos usados para descrever os elementos dos sistemas de comunicações wireless

Page	Breve mensagem que é transmitida sobre toda a área de serviço, usualmente de forma simultânea, por muitas BS.
Roamer	MS que opera em uma área de serviço diferente daquela em que é assinante.
Assinante	Usuário que paga uma taxa de assinatura para utilizar um sistema de comunicações móveis.
Transceptor	Dispositivo capaz de transmitir ou receber sinais de rádio simultaneamente.

Lista de Acrônimos:

PCS	<i>Personal Communications Systems</i>	TDD	<i>Time Division Duplex</i>
MS	Estações Móveis (<i>Mobile Station</i>)	MSC	<i>Mobile Switching Center</i>
BS	Estações Base (<i>Base Station</i>)	PSTN	<i>Public Switched Telephone Network</i>
CC	Canais de Controle (<i>Control Channel</i>)	MIN	Nº. de Identificação da EM (<i>Mobile Identification Number</i>)
FC	Canais Diretos (<i>Forward Channel</i>)	CCD	Canal de controle direto
RC	Canais Reversos (<i>Reverse Channel</i>)	CCR	Canal de controle reverso.
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i>		