



# Capítulo 5

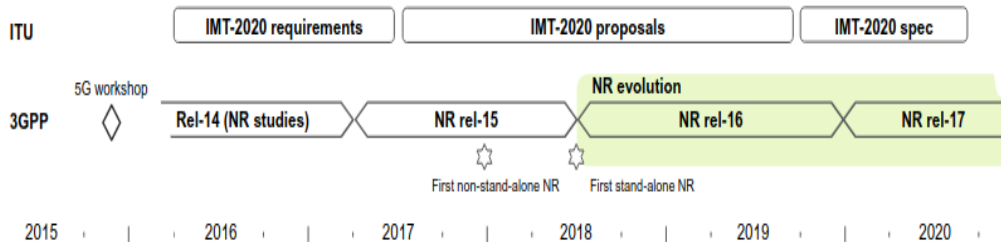
Samuel Lopes da Mota

# Súmario

- 1 NR Overview
- 2 Alguns benefícios do NR em relação ao LTE
- 3 Operação de alta frequência e flexibilidade de espectro
- 4 Design ultra- enxuto
- 5 Esquema de Transmissão, Partes de Largura de Banda e Estrutura do Quadro
- 6 Projeto centrado no feixe e transmissão multiantena
- 7 Acesso Inicial
- 8 Referências

# NR Overview

- O trabalho técnico em NR foi iniciado em 2016 como um item de estudo na versão 14 do 3GPP, com base em um workshop inicial de 2015, conforme a Fig. 5.1.
- O trabalho continuou em uma fase de itens de trabalho na versão 15, resultando na primeira versão das especificações NR disponível no final de 2017, antes do encerramento da versão 15 do 3GPP em meados de 2018.



- A primeira especificação de dezembro de 2017 é limitada à operação NR não autônoma, o que implica que os dispositivos NR dependem do LTE para acesso inicial e mobilidade.
- Foi desenvolvida uma nova rede core 5G, responsável por funções não relacionadas com o acesso rádio mas necessárias para fornecer uma rede completa.
- No entanto, é possível conectar a rede de acesso por rádio NR também à rede de núcleo LTE legada conhecida como Evolved Packet Core (EPC).

## Alguns benefícios do NR em relação ao LTE

- Exploração de bandas de frequência muito mais altas como meio de obter espectros adicionais para suportar larguras de banda de transmissão muito amplas e as altas taxas de dados associadas.
- Design ultra-lean para melhorar o desempenho de energia da rede e reduzir interferência.
- Compatibilidade futura para se preparar para casos de uso futuros, ainda desconhecidos e novas tecnologias.
- Baixa latência para melhorar o desempenho e permitir novos casos de uso.
- Um projeto centrado no feixe que permite o uso extensivo de formação de feixe e um grande número de elementos de antena não apenas para transmissão de dados (que até certo ponto é possível em LTE)

# Operação de alta frequência e flexibilidade de espectro

- A operação em frequências de ondas milimétricas oferece a possibilidade de grandes quantidades de espectro e larguras de banda de transmissão muito amplas associadas, permitindo assim uma capacidade de tráfego muito alta e taxas de dados extremas.
- No entanto, frequências mais altas também estão associadas a uma maior atenuação do canal de rádio, limitando a cobertura da rede.
- Assim, a operação em bandas de baixa frequência continuará sendo um componente vital para a comunicação sem fio também na era 5G.
- Especialmente, a operação conjunta em espectros mais baixos e mais altos, por exemplo, 2 GHz e 28 GHz, pode fornecer benefícios substanciais.

## Design ultra- enxuto

- Um problema com as tecnologias de comunicação móvel atuais é a quantidade de transmissões transportadas pelos nós da rede, independentemente da quantidade de tráfego do usuário.
- Tais sinais, às vezes referidos como sinais “sempre ativos”, incluem, por exemplo, sinais para detecção de estação base, transmissão de informações do sistema e sinais de referência sempre ativos para estimativa de canal.
- Redes muito densas implantadas para altas taxas de pico de dados, pode-se esperar que a carga média de tráfego por nó de rede seja relativamente baixa, tornando as transmissões sempre ativas uma parte mais substancial das transmissões gerais da rede.

- Tendo as transmissões sempre ativas, há dois pontos negativos:
- Impõem um limite superior ao desempenho energético da rede alcançável.
- Eles causam interferência em outras células, reduzindo assim o alcance.
- O princípio de design ultralean visa minimizar as transmissões sempre ativas, permitindo assim um maior desempenho de energia da rede e taxas de dados alcançáveis mais altas.



# Esquema de Transmissão, Partes de Largura de Banda e Estrutura do Quadro

- Semelhante ao LTE, o OFDM foi considerado uma forma de onda adequada para NR devido à sua robustez à dispersão no tempo e à facilidade de explorar o domínio do tempo e da frequência ao definir a estrutura para diferentes canais e sinais.
- No entanto, ao contrário do LTE, onde OFDM pré-codificado por DFT é o único esquema de transmissão no uplink, o NR usa OFDM convencional, ou seja, OFDM não pré-codificado por DFT(discrete Fourier transform).
- Para suportar uma ampla gama de cenários de implantação, desde grandes células com frequência de portadora abaixo de 1 GHz até implantações de ondas milimétricas com alocações de espectro muito amplas, o NR suporta uma numerologia OFDM flexível com espaçamentos de subportadoras variando de 15 kHz até 240 kHz com uma proporcional alteração na duração do prefixo cíclico.

- Um pequeno espaçamento de subportadora tem o benefício de fornecer um prefixo cíclico relativamente longo em tempo absoluto com um overhead razoável.
- Enquanto espaçamentos de subportadora mais altos são necessários para lidar, por exemplo, com o aumento do ruído de fase em frequências de portadora mais altas.
- 5G NR suporta uma numerologia OFDM flexível com espaçamentos de subportadoras que variam de 15 kHz a 120 kHz com uma mudança proporcional na duração do prefixo cíclico. (intervalo de guarda).
- São usadas até 3.300 subportadoras, embora a largura de banda total máxima seja limitada a 400 MHz, resultando em larguras de banda máximas de portadora de 50/100/200/400 MHz para espaçamentos de subportadora de 15/30/60/120 kHz, respectivamente.
- Para cada banda de frequência, os requisitos de rádio são, portanto, definidos para um subconjunto das numerologias suportadas, conforme ilustrado na Fig. 5.2.

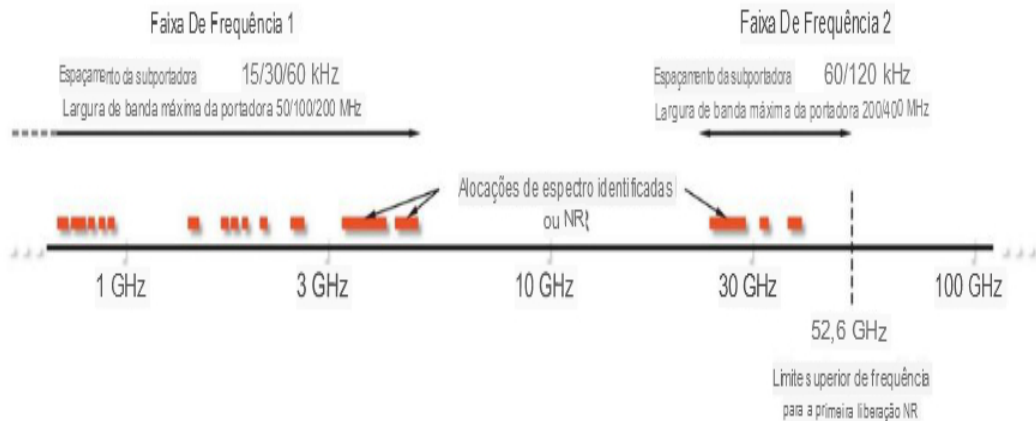
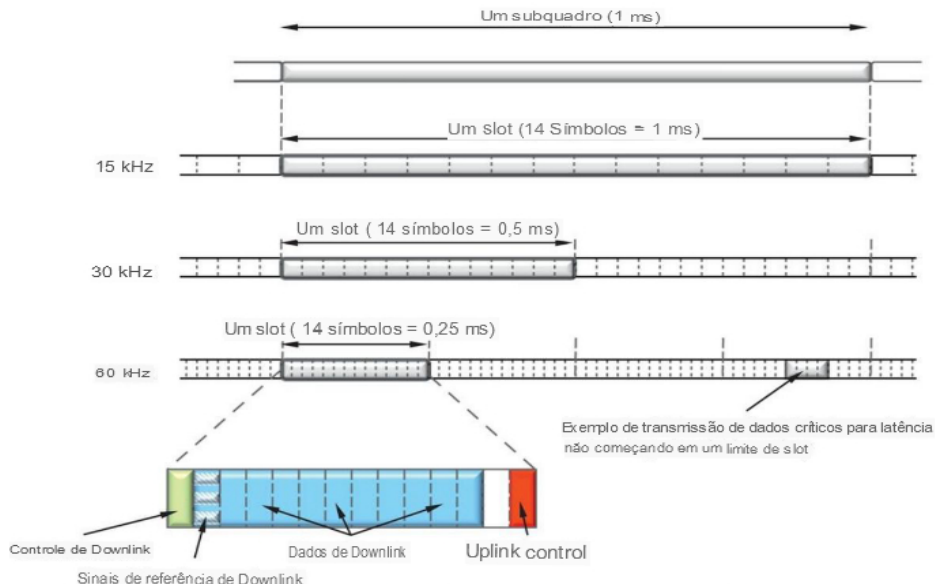


FIGURA 5.2 Espectros identificados para NR e espaço subesportadoras

- No LTE, todos os dispositivos suportam a largura de banda máxima da operadora de 20 MHz.
- No entanto, dadas as larguras de banda muito amplas possíveis em NR, não é razoável exigir que todos os dispositivos suportem a largura de banda máxima da operadora.
- O NR permite a adaptação da largura de banda do receptor do lado do dispositivo como um meio de reduzir o consumo de energia do dispositivo.
- Adaptação de largura de banda refere-se ao uso de uma largura de banda relativamente modesta para monitorar canais de controle e receber taxas de dados médias e abrir dinamicamente um receptor de banda larga somente quando necessário para suportar taxas de dados muito altas.
- A estrutura no domínio do tempo NR é ilustrada na Fig. 5.3 com um quadro de rádio de 10 ms dividido em dez subquadros de 1 ms.



- Ao contrário do LTE, o NR não inclui sinais de referência específicos da célula, mas depende apenas de sinais de referência de demodulação específicos do usuário para estimativa de canal.
- Ao contrário dos sinais de referência específicos da célula, os sinais de referência de demodulação não são transmitidos a menos que haja dados para transmitir, melhorando assim o desempenho da energia da rede e reduzindo a interferência.
- O esquema duplex a ser usado é tipicamente dado pela alocação de espectro disponível. Para bandas de frequência mais baixa, as alocações geralmente são emparelhadas, implicando em duplex por divisão de frequência (FDD), conforme ilustrado na Fig. 5.4.
- Em bandas de frequência mais alta, as alocações de espectro não emparelhadas são cada vez mais comuns, exigindo duplex por divisão de tempo (TDD)

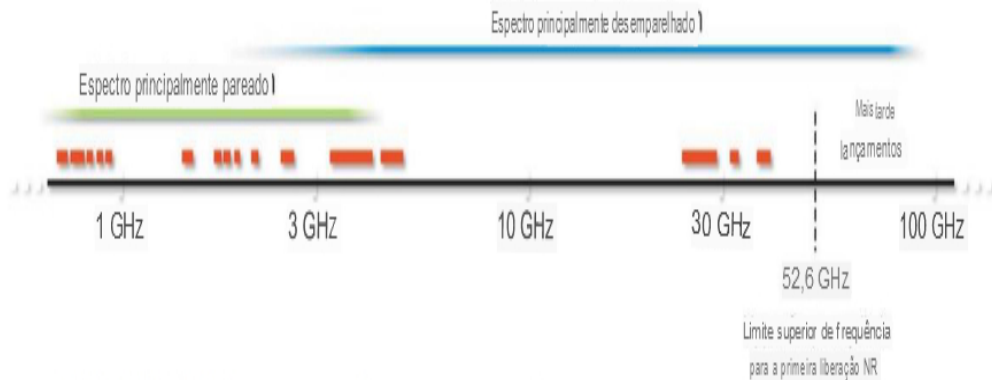
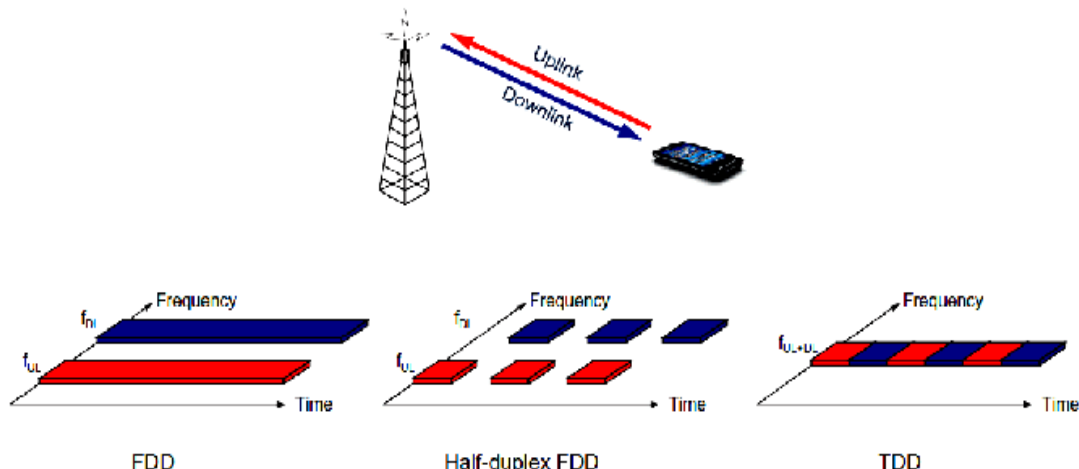


FIGURA 5.4 Esquemas de espectro e duplex.

- A estrutura básica do quadro NR é projetada de forma que possa suportar operação half duplex e full duplex. Em half duplex, o dispositivo não pode transmitir e receber ao mesmo tempo. Exemplos disso são TDD e FDD half-duplex.
- Por outro lado, na operação full-duplex, a transmissão e recepção simultâneas são possíveis com o FDD como um exemplo típico.
- O TDD aumenta em importância quando se move para bandas de frequência mais altas, são menos úteis para cobertura de área ampla com células muito grandes devido às suas condições de propagação, mas são altamente relevantes para cobertura de área local com tamanhos de célula menores.
- Em implantações mais densas com tamanhos de célula menores, as variações de tráfego por célula são mais rápidas em comparação com implantações de células grandes com um grande número de dispositivos ativos por célula.
- Para lidar com tais cenários, o TDD dinâmico, ou seja, a possibilidade de atribuição dinâmica e redistribuição de recursos no domínio do tempo entre as direções de transmissão downlink e uplink, é um componente chave da tecnologia NR.



- Por exemplo, se um usuário está (quase) sozinho em uma célula e precisa baixar um objeto grande, a maior parte dos recursos deve ser utilizada na direção downlink e apenas uma pequena fração na direção uplink.
- Em um momento posterior, a situação pode ser diferente e a maior parte da capacidade é necessária na direção do uplink.

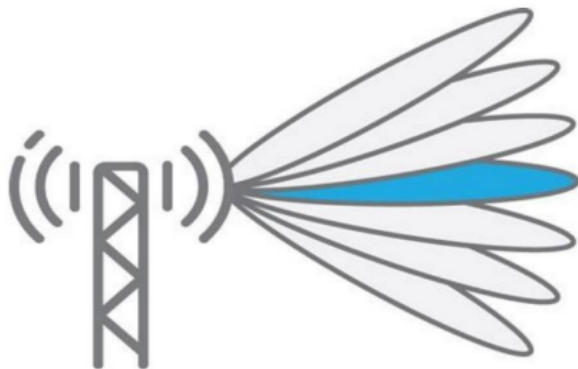


- Canais de controle de downlink são conhecidos como PDCCHs (canais físicos de controle de downlink).
- Uma grande diferença em relação ao LTE é a estrutura de frequência de tempo mais flexível dos canais de controle de downlink, onde os PDCCHs são transmitidos em um ou mais conjuntos de recursos de controle (CORESETs) que, ao contrário do LTE, onde toda a largura de banda da operadora é usada, podem ser configurados para ocupar apenas parte da largura de banda da operadora.
- Isso é necessário para lidar com dispositivos com diferentes capacidades de largura de banda.

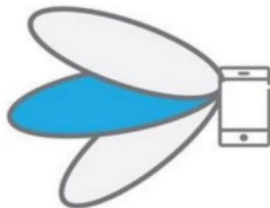
- Outra grande diferença em relação ao LTE é o suporte para beamforming dos canais de controle, que exigiu um design de sinal de referência diferente, com cada canal de controle tendo seu próprio sinal de referência dedicado.
- O beamforming é uma técnica de processamento de sinal que permite concentrá-lo para onde os dispositivos estão, transmitindo os dados em direção a eles, em vez de irradiar utilizando potência máxima em todas as antenas.
- As informações de controle de uplink, como confirmações ARQ híbridas, realimentação do estado do canal para operação de múltiplas antenas e solicitação de agendamento para dados de uplink aguardando transmissão, são transmitidas usando o canal de controle de uplink físico (PUCCH)

## Projeto centrado no feixe e transmissão multiantena

- O suporte para um grande número de elementos de antena orientáveis para transmissão e recepção é uma característica fundamental do NR.
- Em bandas de frequência mais alta, o grande número de elementos de antena é usado principalmente para formação de feixe para estender a cobertura, enquanto em bandas de frequência mais baixa eles permitem MIMO full-dimensional, às vezes chamado de MIMO massivo, e prevenção de interferência por separação espacial.
- Canais e sinais NR, incluindo aqueles usados para controle e sincronização, foram todos projetados para suportar beamforming (Fig. 5.5).



**FIGURA 5.5** Beamforming em NR.



- Com a utilização de um número massivo de elementos de antena para bandas de baixa frequência, a possibilidade de separar espacialmente os usuários aumenta tanto no uplink quanto no downlink, mas exige que o transmissor tenha conhecimento do canal.
- Doze sinais de referência de demodulação ortogonal são especificados para fins de transmissão MIMO multiusuário, enquanto um dispositivo NR pode receber no máximo oito camadas MIMO no downlink e até quatro camadas no uplink.
- Além disso, o NR está preparado para suportar MIMO distribuído, embora o suporte não esteja completo na versão 15.
- O MIMO distribuído implica que o dispositivo pode receber vários canais físicos compartilhados de dados independentes (PDSCHs) por slot para permitir a transmissão simultânea de dados de vários pontos de transmissão para o mesmo usuário.
- Em essência, algumas camadas MIMO são transmitidas de um site enquanto outras camadas são transmitidas de outro site.

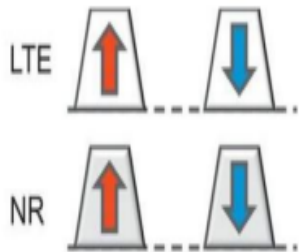
# Acesso Inicial

- Acesso inicial são os procedimentos que permitem que um dispositivo encontre uma célula para acampar, receber as informações necessárias do sistema e solicitar uma conexão por meio de acesso aleatório.
- Há um par de sinais de downlink, o sinal de sincronização primário (PSS) e o sinal de sincronização secundário (SSS), que é usado por dispositivos para localizar, sincronizar e identificar uma rede;
- Existe um canal de transmissão física de downlink (PBCH) transmitido junto com o PSS/SSS. O PBCH transporta uma quantidade mínima de informação do sistema, incluindo uma indicação de onde a informação restante do sistema de difusão é transmitida. No contexto de NR, PSS, SSS e PBCH são referidos conjuntamente como um bloco de sinal de sincronização (SS)
- Existe um procedimento de acesso aleatório de quatro estágios, começando com a transmissão de uplink de um preâmbulo de acesso aleatório.

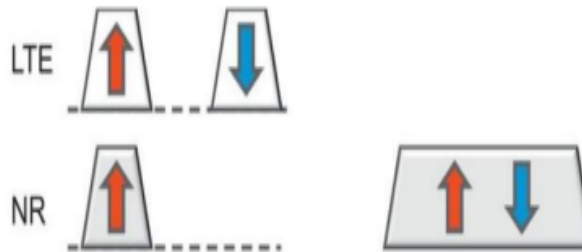
- No LTE, PSS, SSS e PBCH estão localizados no centro da portadora e são transmitidos uma vez a cada 5 ms. Assim, permanecendo em cada frequência portadora possível durante pelo menos 5 ms, um dispositivo tem a garantia de receber pelo menos uma transmissão PSS/SSS/ PBCH se existir uma portadora na frequência específica.
- Como é difícil fornecer cobertura total em frequências mais altas, a interoperabilidade com sistemas operando em frequências mais baixas é importante.
- A coexistência do espectro LTE/NR , ou seja, a possibilidade de um operador implantar NR no mesmo espectro de uma implantação LTE já existente, foi identificada como uma forma de permitir a implantação antecipada de NR em espectros de baixa frequência sem reduzir a quantidade de espectro disponível para LTE.



- Dois cenários de coexistência foram identificados no 3GPP e orientaram o design da NR:
- No primeiro cenário, ilustrado na parte esquerda da Fig. 5.6, há coexistência LTE/NR no downlink e no uplink.
- No segundo cenário, ilustrado na parte direita da Fig. 5.6, há coexistência apenas na direção de transmissão uplink, normalmente dentro da parte uplink de um espectro pareado de frequência mais baixa, com a transmissão downlink NR ocorrendo no espectro dedicado a NR, normalmente em frequências mais altas.



**Downlink and uplink co-existence**



**Uplink-only co-existence**

- DAHLMAN, Erik; PARKVALL, Stefan; SKOLD, Johan. 5G NR: The next generation wireless access technology. Academic Press, 2020.

