

Introdução à Tecnologia Celular de 5ª Geração

5ª parte

N5GG

Colin Buckup

Julho 2020

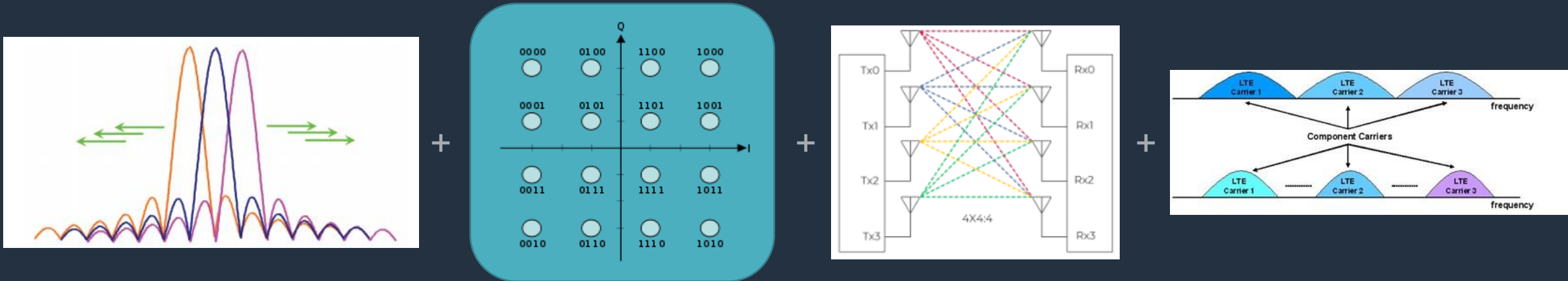
Calculando a velocidade
no canal 4G / 5G



$$\text{data rate (in Mbps)} = 10^{-6} \cdot \sum_{j=1}^J \left(v_{\text{Layers}}^{(j)} \cdot Q_m^{(j)} \cdot f^{(j)} \cdot R_{\text{max}} \cdot \frac{N_{\text{PRB}}^{BW(j), \mu} \cdot 12}{T_s^{\mu}} \cdot (1 - OH^{(j)}) \right)$$

Pontos de Discussão 5ª Parte

- Juntando as partes: OFDM + Modulação + Técnicas MIMO + Agregação de Espectro



Resultado:



Normas 3GPP de 4G até 5G

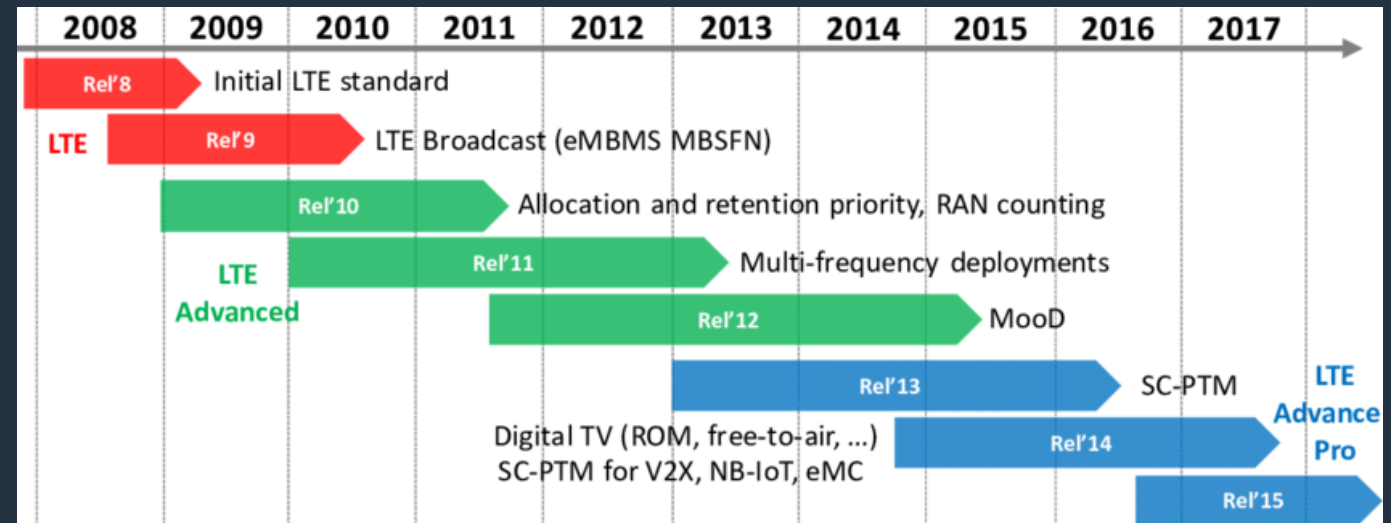
3GPP Release

8, 9

10, 11, 12

13, 14

15, 16, ...



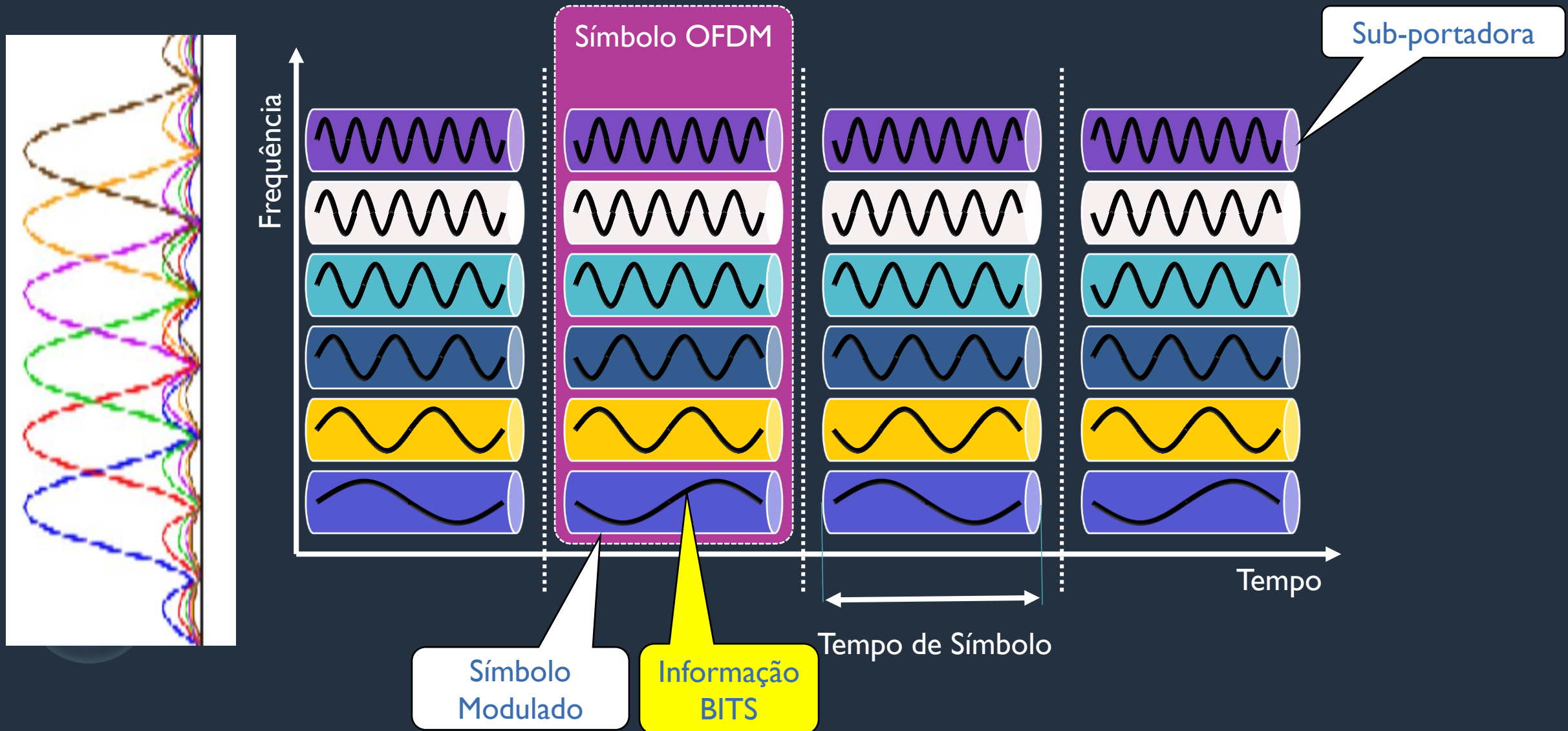
Vamos começar calculando a velocidade máxima em 4G release 8 / 9



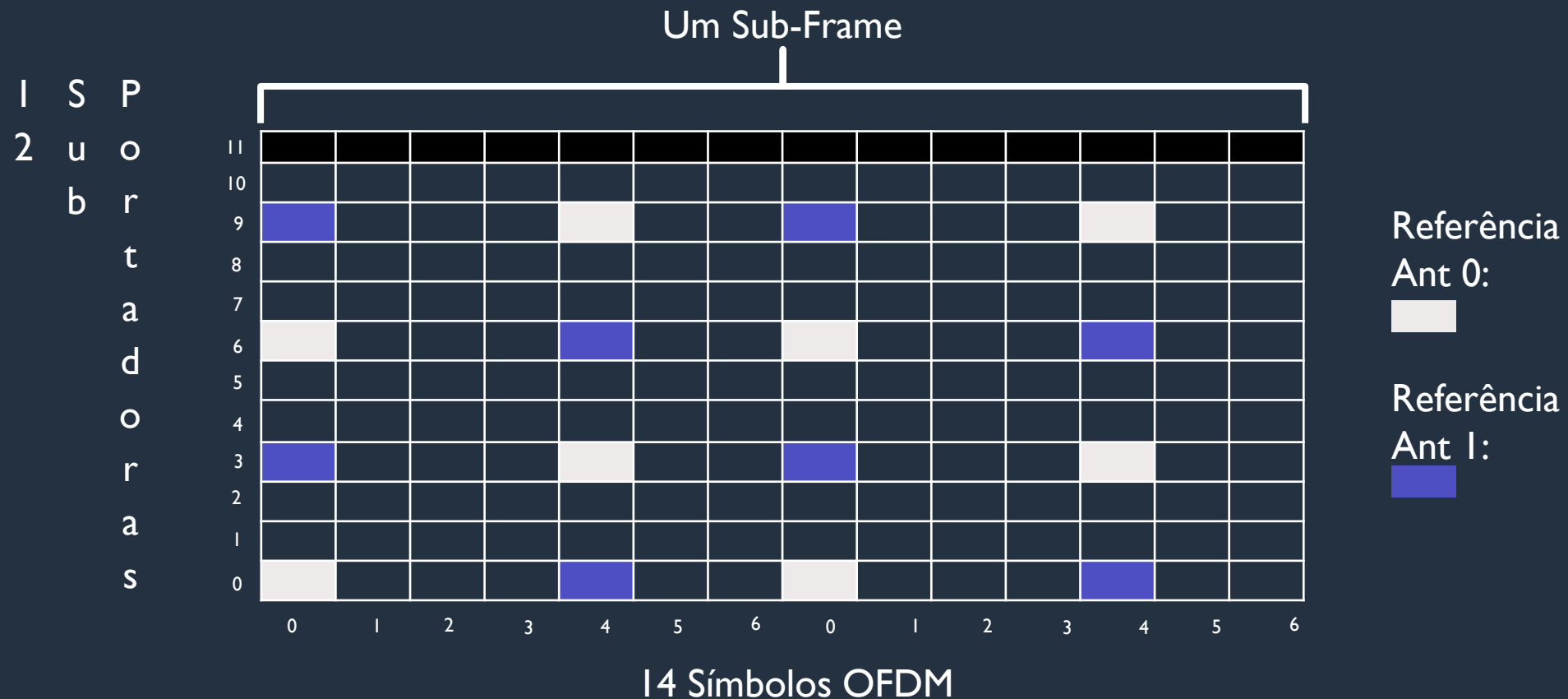
3GPP Release 8 e 9



Lembrando OFDMA



1 Bloco de Recursos - RB - em OFDMA


$$1 \text{ RB} = 12 \text{ sub-portadoras} \times 14 \text{ símbolos} = 168 \text{ RE}$$

1 RB = 168 RE (Resource Elements – Elementos de Recursos)

O RE carrega informação modulada em QPSK, 16QAM, 64QAM ou 256QAM

1 RE carrega 2, 4, **6** ou 8 **bits**

RB no tempo = 1 ms

RB em frequência = 180 kHz

Nem todos os RE carregam informação, alguns RE são reservados para sinais de referência (MIMO)

Condições de Contorno para o Cálculo

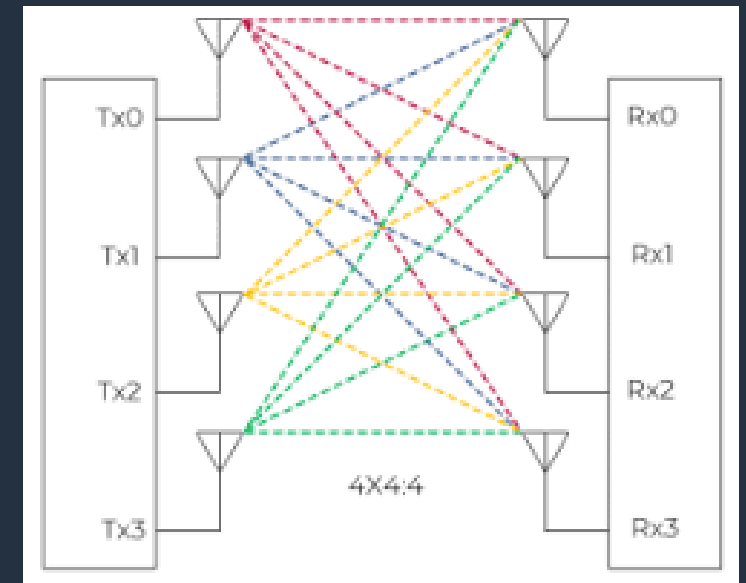
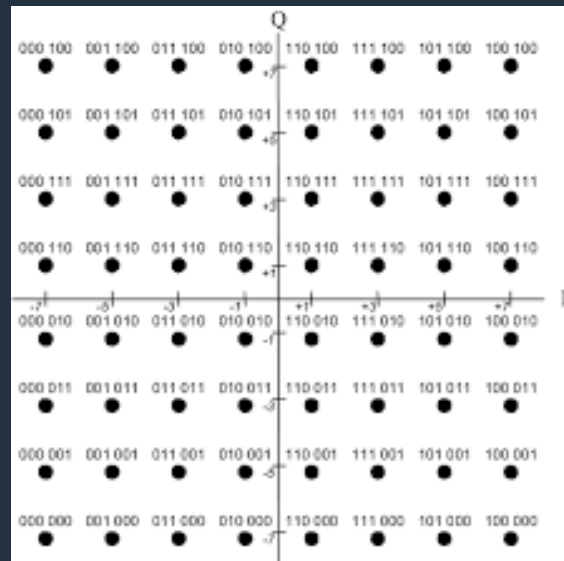
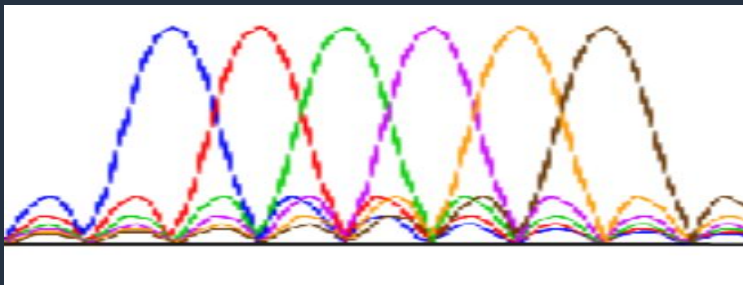
Máxima largura de Banda de Canal em 4G = **20 MHz**

Em 20 MHz temos 18 MHz de Largura de Banda útil (Descontados os 5% de Banda de Guarda de cada lado do canal)

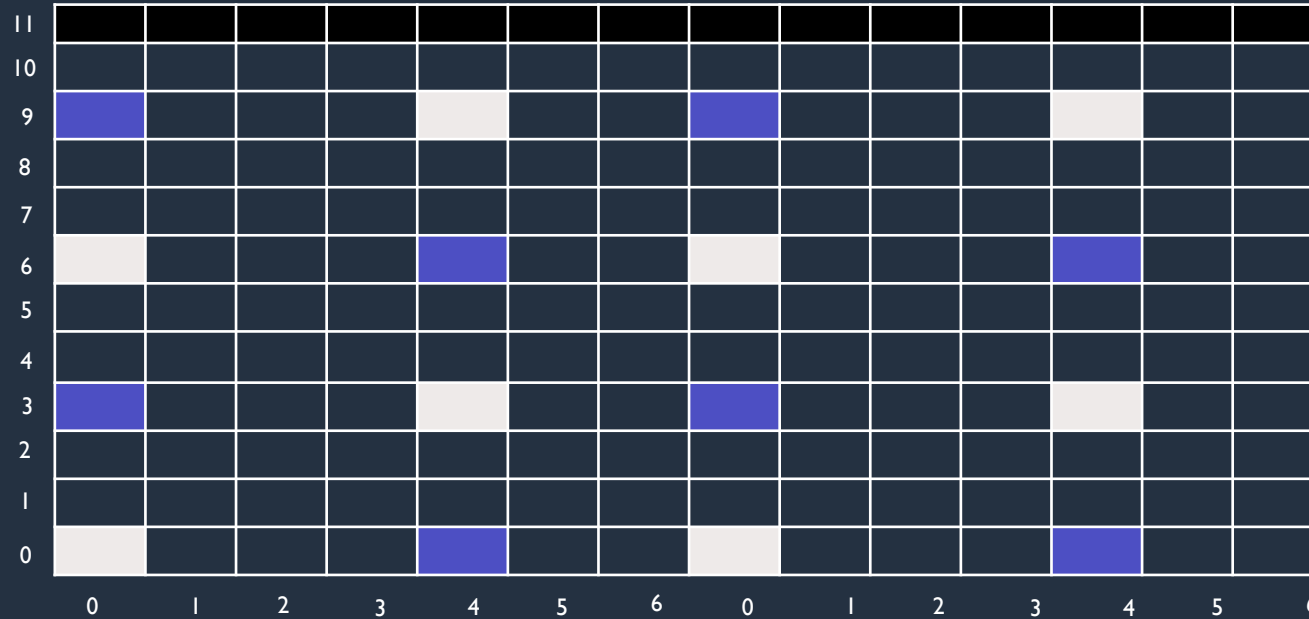
Nos 18 MHz úteis, cabem $18 \text{ MHz} / 180 \text{ kHz} = 100 \text{ RB} =$ **100 Blocos de Recurso**

SINR de RF muito bom = Melhor modulação possível = 64QAM para 4G = **6 bits / símbolo**

SINR de RF muito bom = Máximo número de camadas **MIMO = 4x4** em 4G



Capacidade de 1 Bloco de Recursos



Se utilizarmos **64QAM = 6 bits / RE**

1 RB carrega $6 \text{ bits} \times 168 \text{ RE} = \text{total de } 1008 \text{ bits} / 1 \text{ ms} = \text{1 Mb/s}$

Capacidade de Canal 4G - 20 MHz 4x4

1 RB carrega 6 bits x 168 RE = total de 1008 bits / 1 ms = 1 Mb/s

Canal possui 100 RB

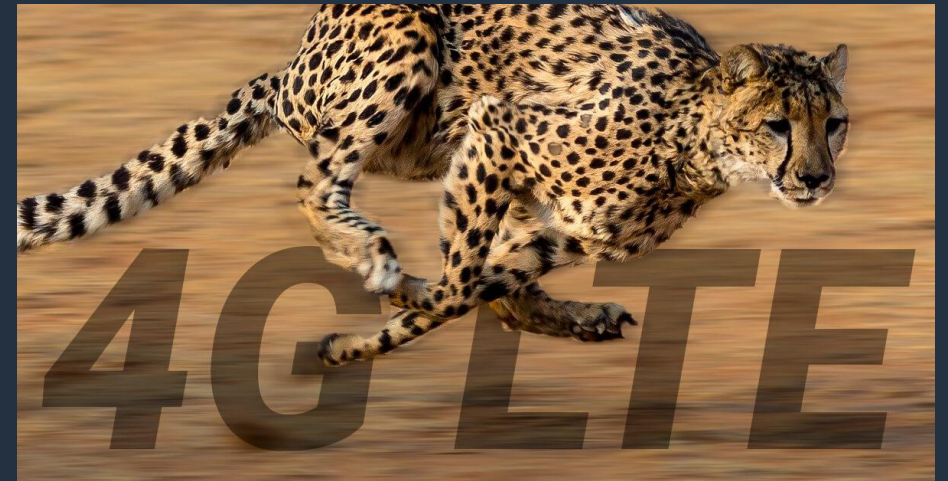
Capacidade de Canal = 1 Mb/s x 100 RB = 100 Mb/s sem MIMO

Utilizando 4x4 MIMO = Capacidade de Canal x 4 = 100 Mb/s x 4 = 400 Mb/s

Descontando overhead devido a sinais de referência, etc = ~ 25%

Capacidade de canal real = 400 Mb/s x 0.75 = 300 Mb/s

Velocidade DL 4G máxima = 300 Mb/s



Vamos calcular a velocidade máxima em 4G Avançado - releases 10 até 14



3GPP Release 10 até 14

O que muda:

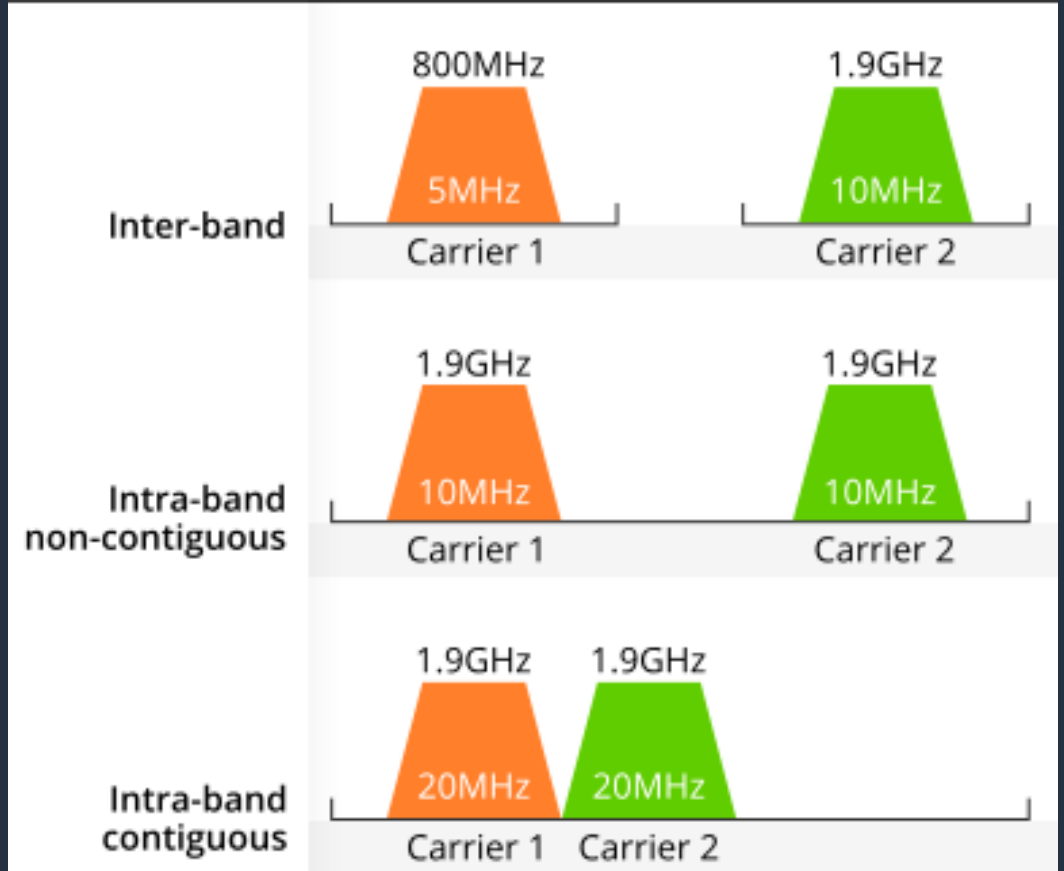
- MIMO passa a ser até 8x8
- Agregação de espectro até 5 canais 4G

Agregação de Espectro

4G Avançado permite agregação de espectro de até 5 canais 4G
Largura de Banda máxima de canal individual é 20 MHz
Resultado: Banda agregada de 100 MHz no máximo

Se em 20 MHz cabem 100 RB, em 100 MHz cabe 5x mais RB.
É o equivalente a multiplicar os recursos disponíveis por 5

Carrier aggregation models



Capacidade de Canal 4G Avançado 8x8 MIMO e Agregação de 5 canais

Capacidade de Canal = $1 \text{ Mb/s} \times 100 \text{ RB} = 100 \text{ Mb/s}$ sem MIMO

Utilizando 8x8 MIMO = Capacidade de Canal $\times 8 = 100 \text{ Mb/s} \times 8 = 800 \text{ Mb/s}$

Agregação de Espectro = Ganho de 5x = 4 Gb/s

Descontando overhead devido a sinais de referência, etc = $\sim 25\%$

Capacidade de canais agregados = $4 \text{ Gb/s} \times 0.75 = 3 \text{ Gb/s}$

Velocidade DL 4G avançado máxima = 3 Gb/s



Vamos calcular a velocidade máxima em 5G- releases 15 em diante



3GPP Release 15 em diante

O que muda:

- Espaçamento de Sub-Portadora é variável – 15 a 120 kHz
- Largura de Banda permite até 264 RB
- Modulação até 256QAM
- Agregação de espectro até 16 canais individuais
- Esquema de transmissão em Banda Alta é TDD – Típico 80% DL e 20% UL

<https://5g-tools.com/5g-nr-throughput-calculator/>

5G Tools for RF Wireless

Tools from engineers for engineers

HOME

5G NR Throughput calculator

5G NR Link budget calculator

5G NR ARFCN calculator

5G NR GSCN (SSB) calculator

5G NR TBS calculator

Spectral Efficiency 5G NR calculator

5G NR SSB SSS Power Calculator

4G LTE Throughput calculator

4G LTE Link budget calculator

4G LTE EARFCN calculator

4G LTE Timing Advance Distance calculator

4G LTE Users (CCE) calculator

4G LTE RS RE Power boosting calculator

NB-IoT Link budget calculator

5G, 4G Neighbor planning

QoS for 5G NR

QoS for 4G LTE

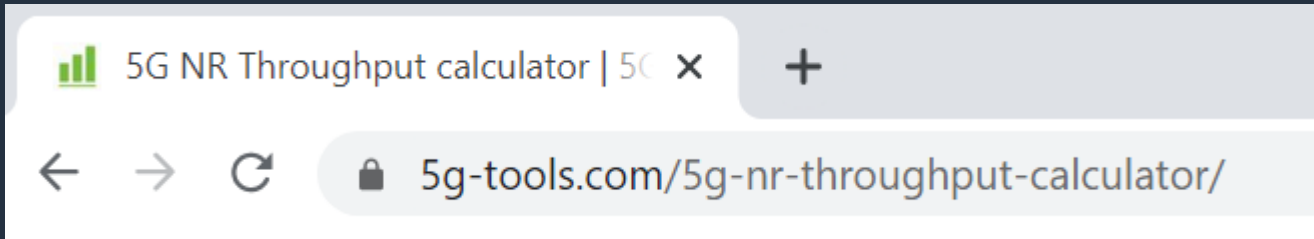
About us

5G NR Throughput calculator

This Page provides information about 5G NR Throughput calculator. Calculator allows to calculate the maximum throughput of 5G NR network for user (depending on his mobile device UE). Approximately data transfer rate of 5G NR can be calculated using the formula:

$$\text{data rate (in Mbps)} = 10^{-6} \cdot \sum_{j=1}^J \left(v_{\text{Layers}}^{(j)} \cdot Q_m^{(j)} \cdot f^{(j)} \cdot R_{\max} \cdot \frac{N_{\text{PRB}}^{BW^{(j)}, \mu} \cdot 12}{T_s^{\mu}} \cdot (1 - OH^{(j)}) \right)$$

Capacidade de Canal 5G – Canal Único



$$\text{data rate (in Mbps)} = 10^{-6} \cdot \sum_{j=1}^J \left(v_{\text{Layers}}^{(j)} \cdot Q_m^{(j)} \cdot f^{(j)} \cdot R_{\text{max}} \cdot \frac{N_{\text{PRB}}^{BW^{(j)}, \mu} \cdot 12}{T_s^{\mu}} \cdot (1 - OH^{(j)}) \right)$$

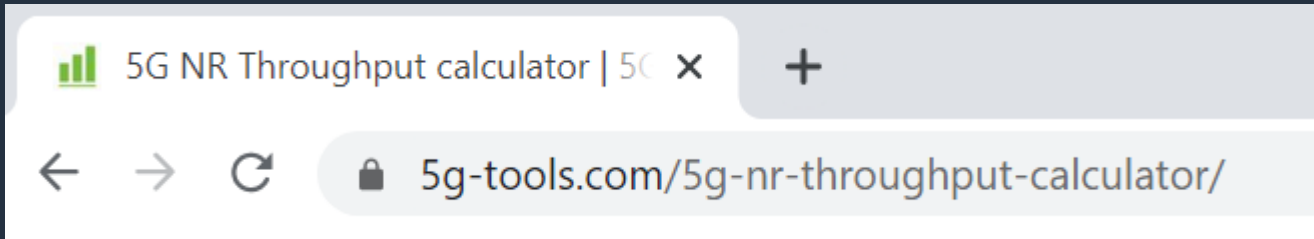
SEM agregação de espectro – 1 canal de 400 MHz de Largura de Banda, 8x8 MIMO, 256QAM

Calculated 5G NR Throughput, Mbps: **14776**

Velocidade DL 5G máxima 1 canal = 14.7 Gb/s



Capacidade de Canal 5G - Agregado



$$\text{data rate (in Mbps)} = 10^{-6} \cdot \sum_{j=1}^J \left(v_{\text{Layers}}^{(j)} \cdot Q_m^{(j)} \cdot f^{(j)} \cdot R_{\text{max}} \cdot \frac{N_{\text{PRB}}^{BW^{(j)}, \mu} \cdot 12}{T_s^{\mu}} \cdot (1 - OH^{(j)}) \right)$$

COM agregação de espectro – 16 canais de 400 MHz de Largura de Banda, 8x8 MIMO, 256QAM

Calculated 5G NR Throughput, Mbps: **236416**

Velocidade DL 5G máxima 16 canais = 236.4 Gb/s



O que aprendemos nesta apresentação

A velocidade de transmissão atingida em um canal de radio depende de:

Tecnologia utilizada – OFDMA

Largura de Banda total disponível

Tipo de Modulação utilizada – QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM

Número de camadas MIMO utilizadas – 2x2, 4x4, 8x8

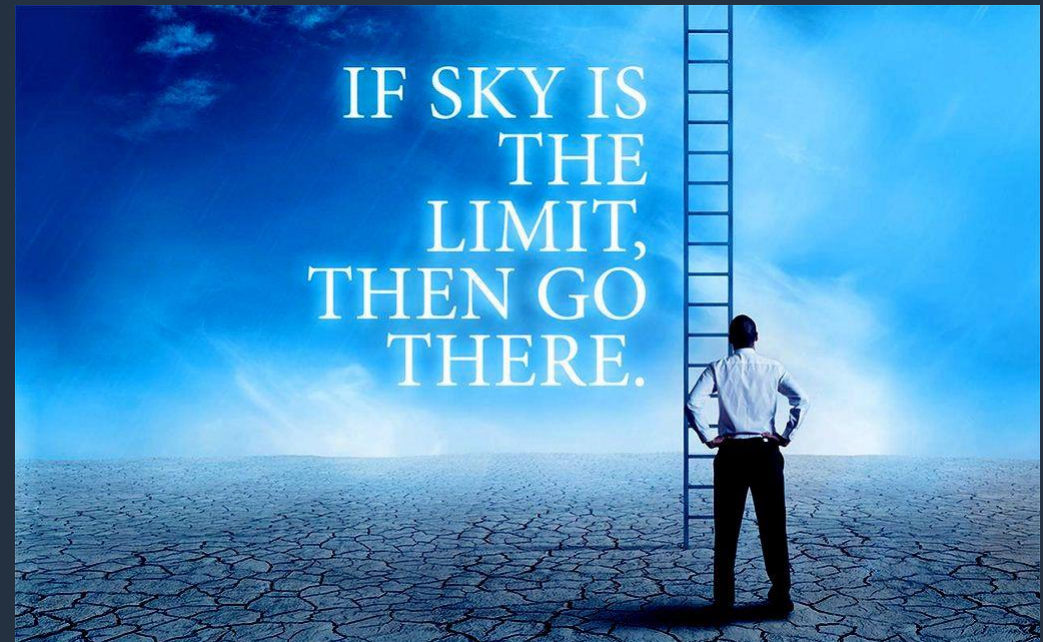
Agregação de Espectro – Concatenação de Canais

Em **4G** a velocidade máxima de transmissão é de **300 Mb/s**

Em **4G Avançado** com 5 canais agregados a velocidade máxima de transmissão é de **3 Gb/s**

Em **5G canal único** a velocidade máxima de transmissão é de **14.7 Gb/s**

Em **5G com 16 canais** agregados a velocidade máxima de transmissão é de **236.4 Gb/s**



Perguntas e Respostas



Muito Obrigado!

73 de N5GG

Colin