

5G

Visão geral, oportunidades e desafios

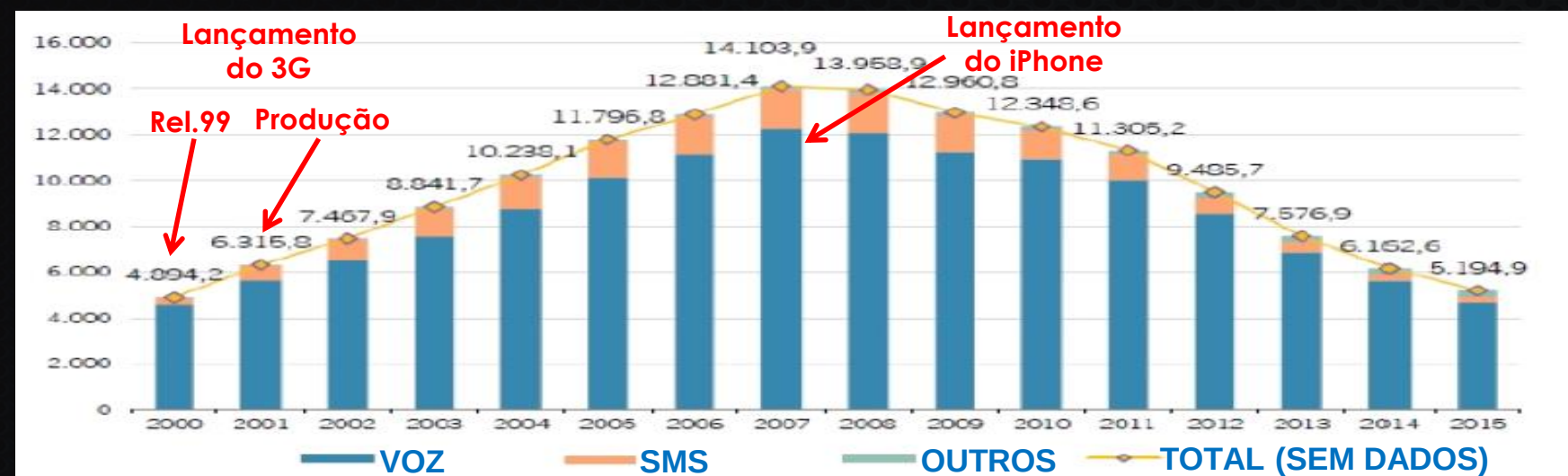
CARLOS ALBERTO S.
CAMARDELLA

DIRETORIA DE EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DE REDES

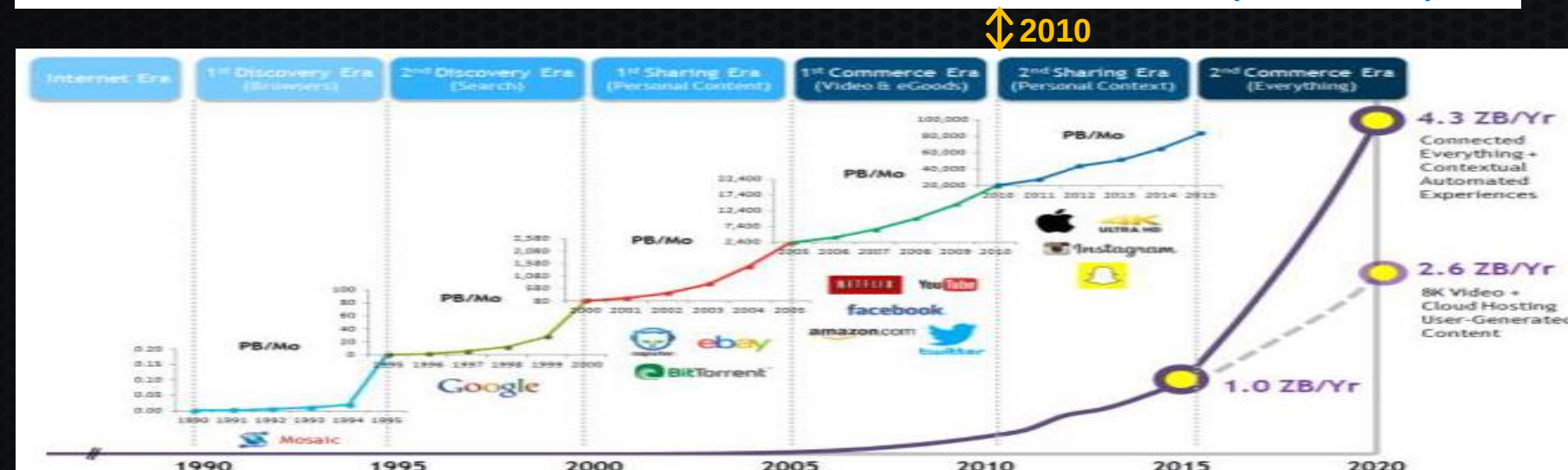
A REVOLUÇÃO DIGITAL(1)



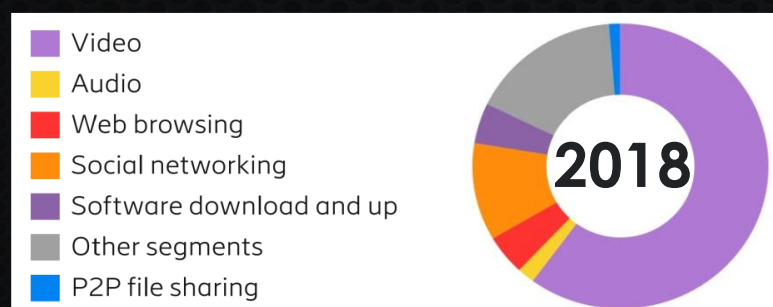
Evolução dos serviços móveis tradicionais



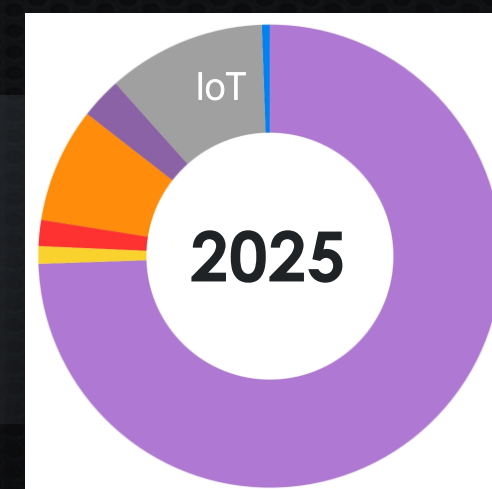
- Explosão do SMS até 2007
- Após 2008: Queda linear e irreversível nos serviços tradicionais Voz e SMS (-20% ao ano)
- Uso de dados intensificando-se a cada ano
- Maiores investimentos nas redes, porém com menor retorno financeiro



- Serviço de dados móveis: Crescimento exponencial (hoje em 70% ao ano)
- Monetizado pelas OTTs !!! Netflix, Spotify, Youtube, redes sociais...
- CAGR cai de 92% em 2015 para 43% em 2018



- Em 2018: Vídeo correspondeu a 60% do tráfego nas redes móveis ~27 EB por mês



- Em 2025: Vídeo atingirá 75%~80% do tráfego nas redes móveis ~140 EB por mês

A REVOLUÇÃO DIGITAL(2)

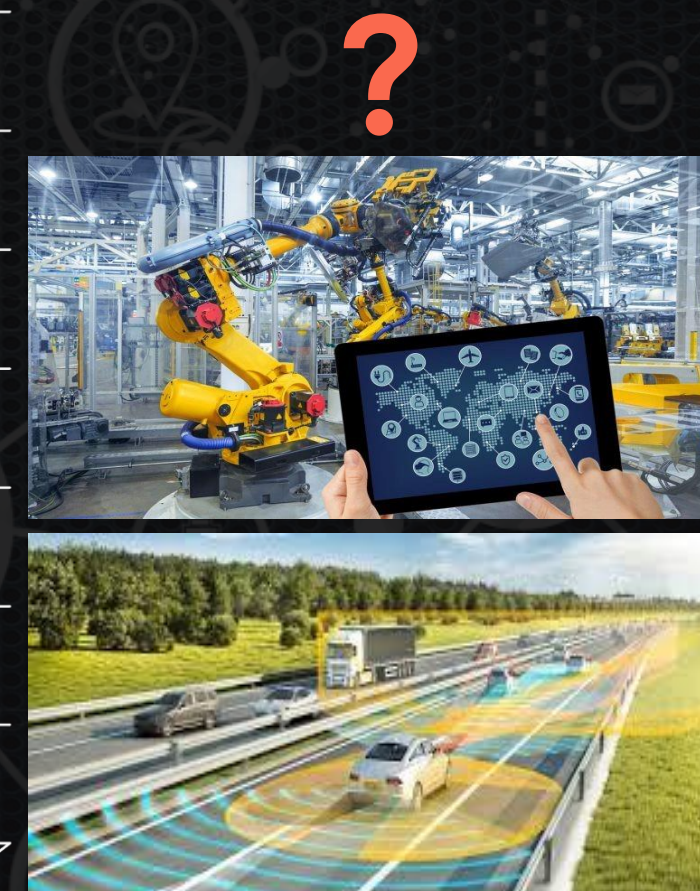
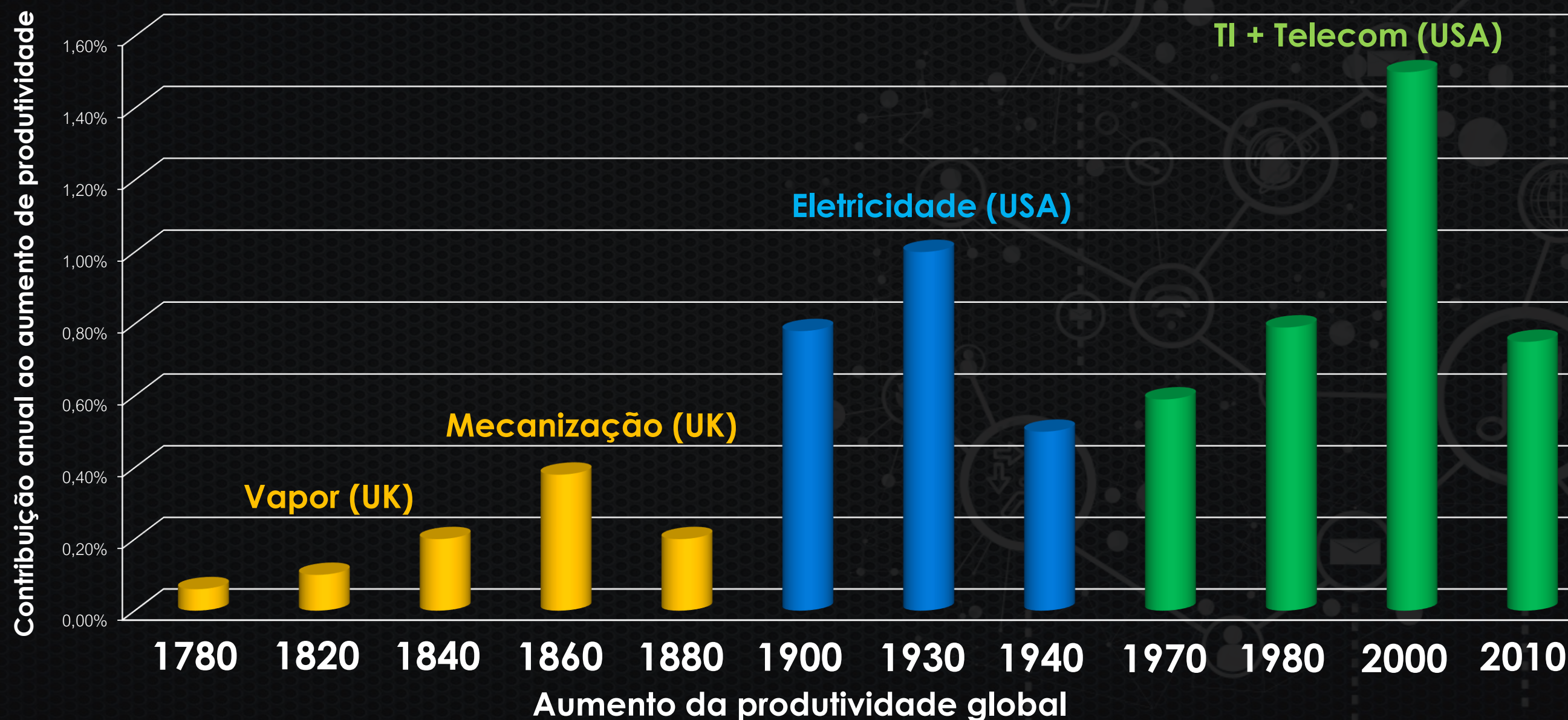
Estamos entrando na 4ª revolução industrial

Indústria 1.0
Máquinas a vapor (tear mecânico, locomotivas)

Indústria 2.0
Produção em escala, linhas de montagem, máquinas elétricas e à combustão

Indústria 3.0
Automação, computação, eletrônica, TV e telecomunicações

Indústria 4.0
Internet das Coisas (IoT)
Inteligência Artificial (AI)
Sistemas cibernéticos
Computação em nuvem
Hiperconectividade
Autonomia



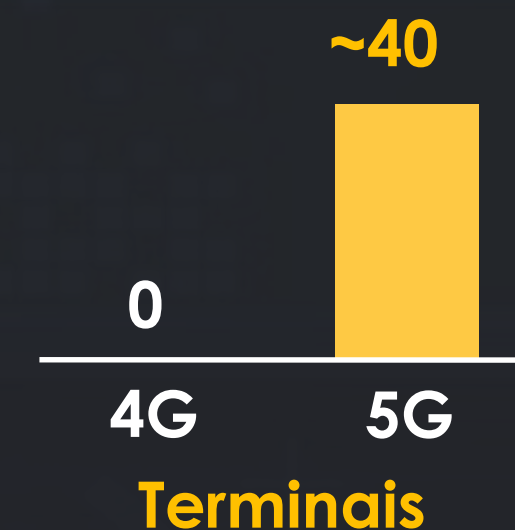
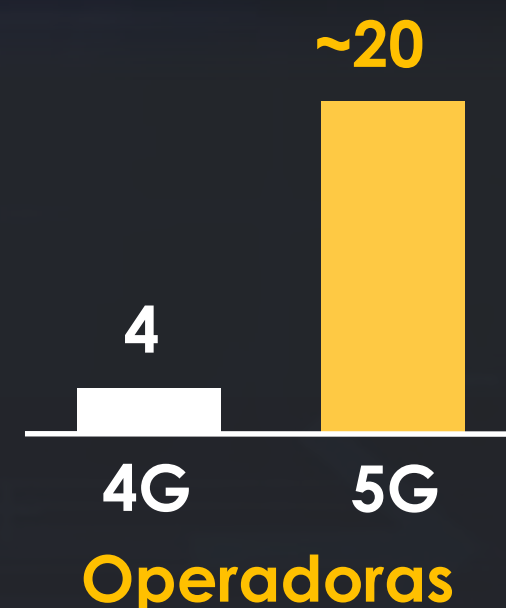
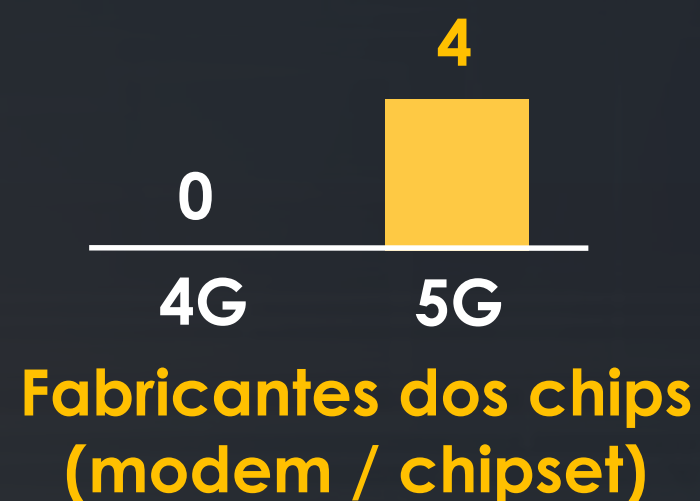
2025

EVOLUÇÃO DAS REDES MÓVEIS

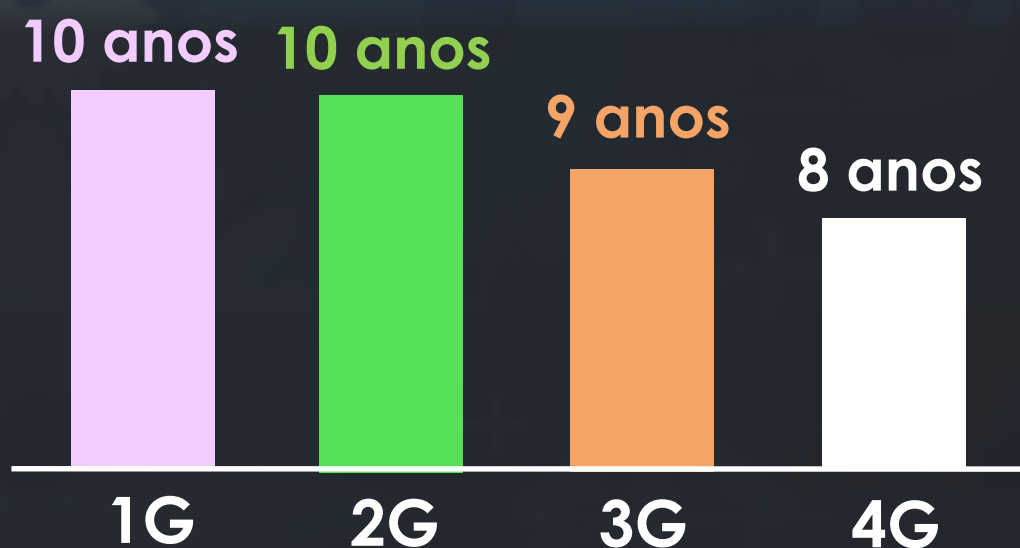


O tempo de adoção da nova tecnologia celular cai a cada ciclo

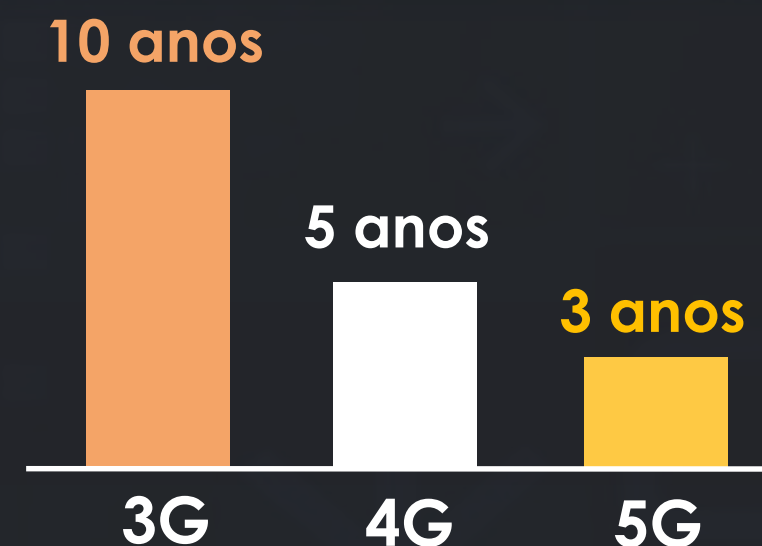
4G x 5G no primeiro ano de lançamento



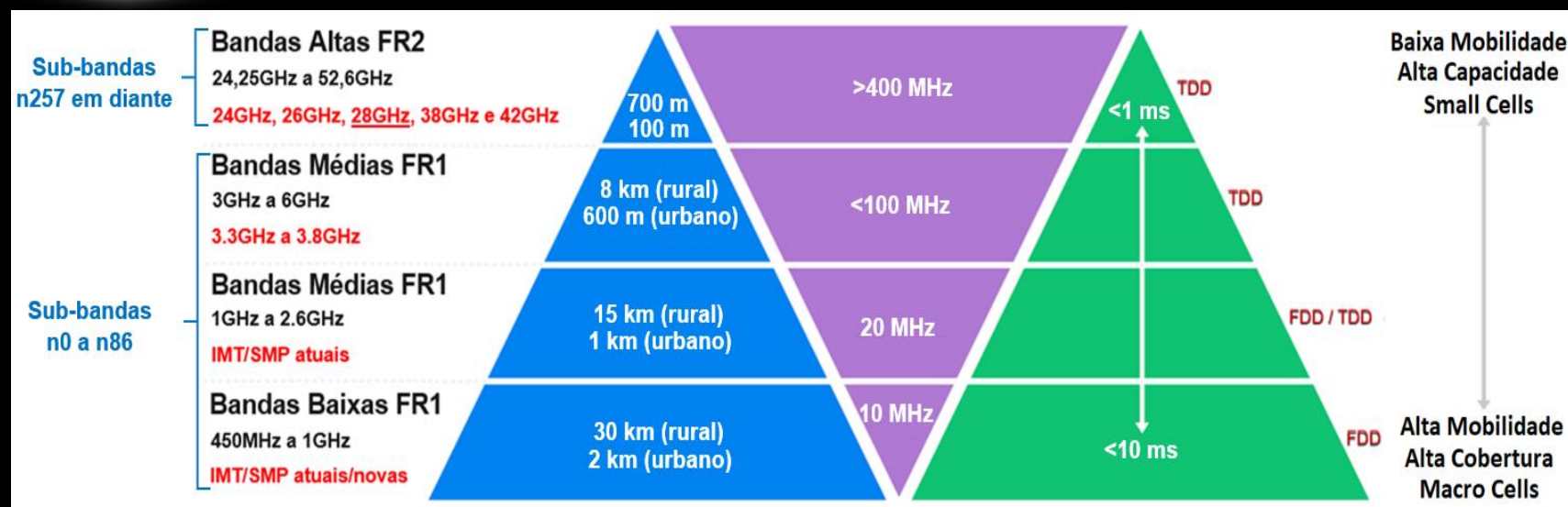
Tempo de mercado até nova geração



Tempo para atingir 100 milhões de assinantes

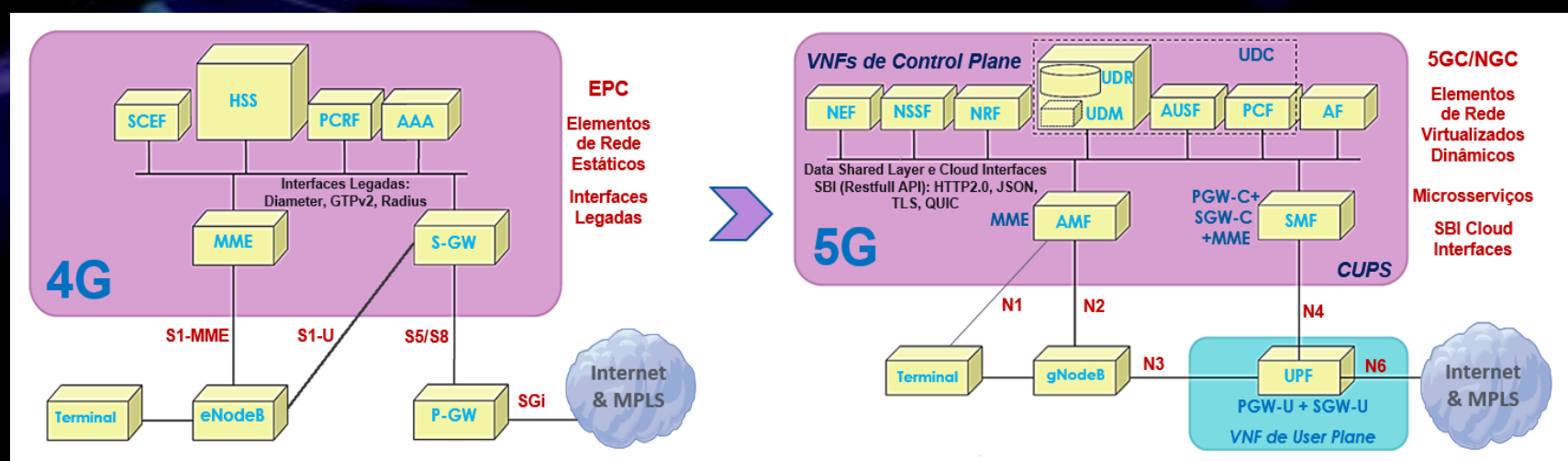


EVOLUÇÃO 5G: FLEXIBILIDADE



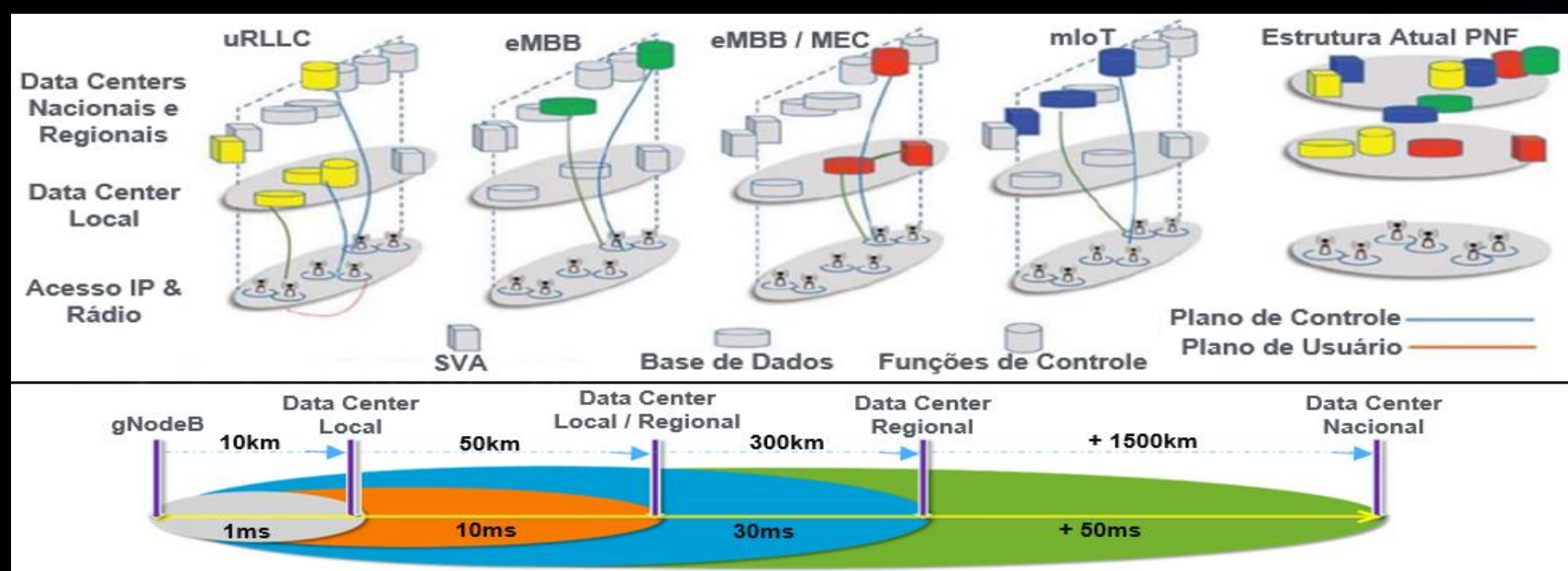
1- Novas faixas de frequência mais altas e em TDD

- Antenas Massive MIMO no seu máximo desempenho
- mmWaves: Muito espectro e baixíssima latência. Pior penetração indoor e cobertura. Mobilidade limitada
- 3.5GHz: Boa quantidade de espectro (até 100MHz), muito baixa latência e boa mobilidade



2- Novo Packet Core 5G (5GC) virtualizado

- Ambiente de Cloud Computing, dinâmico, baseado em microserviços e APIs
- Flexibilidade, automação e orquestração ⇔ Devops
- Integração natural com Edge Computing



3- Network Slicing nativo no 5G para cada aplicação

- Datacenters distribuídos de forma hierarquizada
- Serviços como eMBB, mMTC e uRLLC tem slices de rede distintos, com Qualidade de Experiência (QoE) e Qualidade de Serviço (QoS) específicos para cada aplicação

REVOLUÇÃO 5G: HIPERCONECTIVIDADE



Framework 5G: Ecossistema para novos serviços revolucionários em B2B, B2C, B2X, X2X

uRLLC

Criptomoedas, Blockchain
Speedybuying e Speedyselling

Telecirurgias

Telerobótica pode salvar
35% a mais de vidas



uRLLC

Veículos Autônomos

90% menos acidentes
Tráfego 20% mais rápido
Economia de 30% de
combustível com C-V2X



eMBB

Móvel e FWA

TV, Vídeo & On-Line Gaming

4K para VoD/IPTV/MBMS

8K para Realidade

Aumentada e Realidade Virtual



mIoT (mMTC)

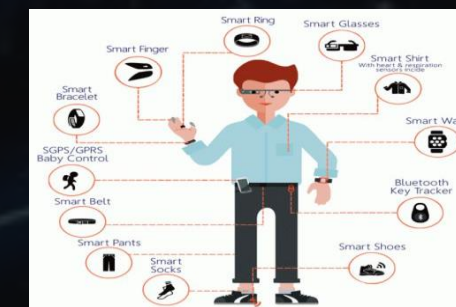
vPoS, MicroPayments

Aplicativos Integrados + conectividade

Wearables/eHealth/Connected Home

Sensores na casa, corpo, roupas e sapatos

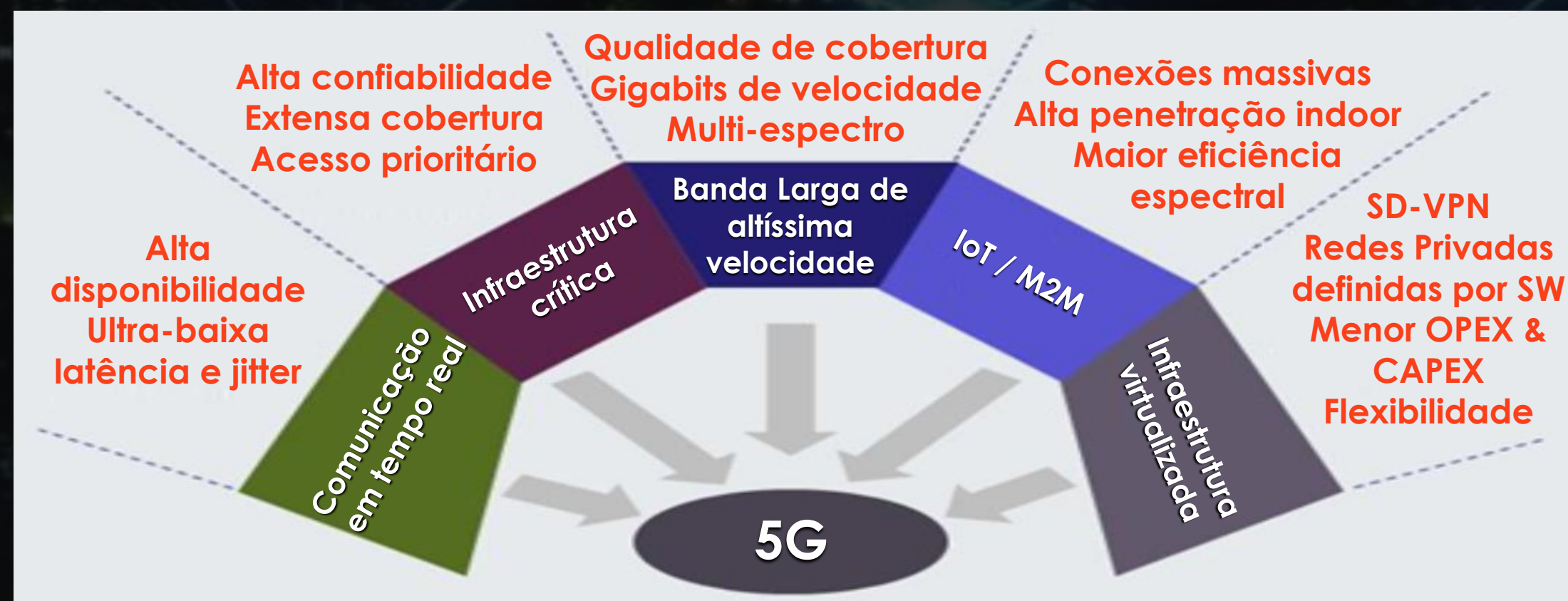
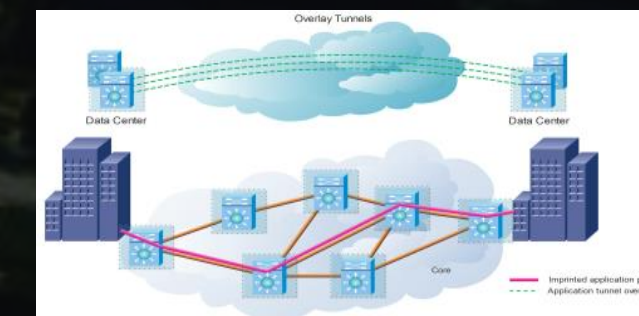
Autenticação Biométrica avançada



eMBB

FWA SD-WAN & SD-VPN

Criação de redes e serviços
de valor adicionado de
forma rápida e escalável
Microservidores nos sites



APLICAÇÕES 5G: FOCO ATUAL



Bases Navais, Portos, Aeroportos



Indústria 4.0 (Plantas Industriais)



FWA



Experiências com vídeo em grandes eventos: AR/VR/3D/360°



Imersive On-Line/Cloud Gaming



VEÍCULOS AUTÔNOMOS TERRESTRES



LiDAR (Light Detection and Ranging)
Mede distâncias para criar o mapa 3D da área, com até 64 feixes de laser pulsado ($\lambda \sim 900\text{nm}$) via espelhos hexagonais giratórios, de 30 rpm (Forecast) a 1200 rpm (Velodyne HDL-64) e resolução de até 2 Megapixels (Alcance: 2cm~150m)

Câmeras Estereoscópicas 3D
Detecção de obstáculos próximos e distantes, leitura de placas e semáforos, detecção de faixas de rodagem e de pedestres.
Para off-road, complementam o LiDAR (Alcance: até 100~250m)

Sensores Radar (x3)
Detecção de obstáculos próximos e distantes (Alcance: até 100~250m)

Rádio para V2V / V2I / V2N
5G C-V2X no lugar do DSRC

GPS + Altímetro
Posicionamento

Sensores ultrasônicos
Detecção de objetos muito próximos ao redor

Sensor Radar (x1)
Pára-choques traseiro

Acelerômetro e giroscópio
Medem inclinação e rotação da carroceria



DESAFIOS 5G



COBERTURA 3.5GHz x 26GHz x 2.6GHz



Comparação de cobertura em FWA

Premissas:

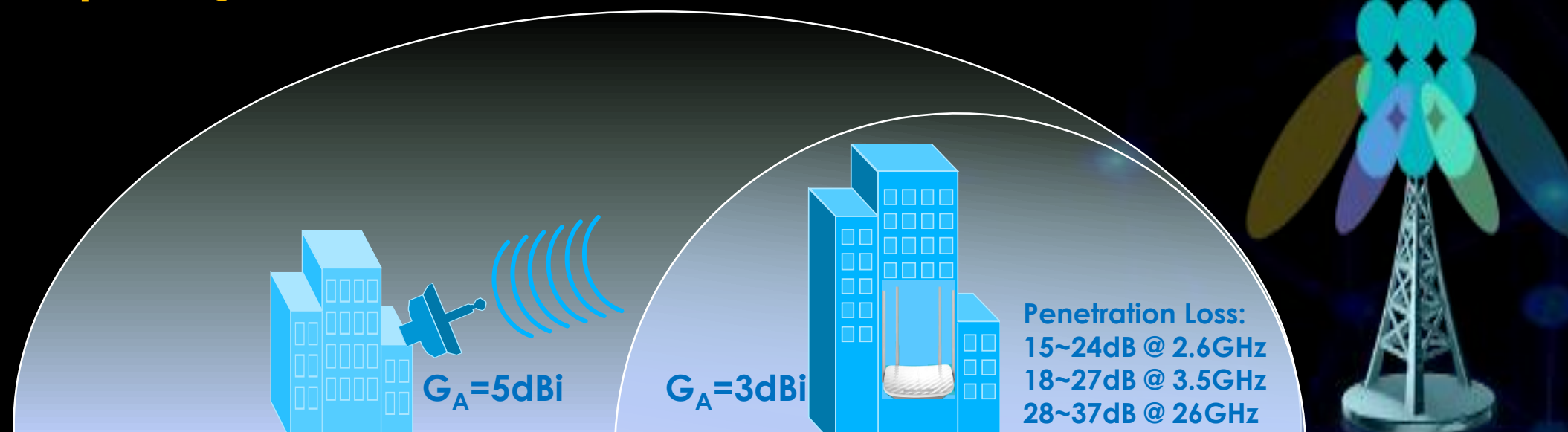
DL:100Mbps (>-120dBm), 64T64R

UL:10Mbps, 2T2R

$P_{TX}=53\text{dBm}$, $h=30\sim50\text{m}$

BW 3.5GHz:100MHz

BW 28GHz: 800MHz



CPE com Antena Outdoor

CPE Indoor

Site Macro

URBANO DENSO

4G (4T4R)
5G (64TRX)
5G (64TRX)

150m~250m
564m/232m
116m/110m

150m~250m
243m/97m
78m/73m

2.6GHz (UL médio)
3.5GHz DL/UL
28GHz DL/UL

URBANO

4G (4T4R)
5G (64TRX)
5G (64TRX)

350m~400m
642m/388m
197m/187m

350m~400m
519m/213m
136m/129m

2.6GHz (UL médio)
3.5GHz DL/UL
28GHz DL/UL

SUBURBANO/RURAL

4G (4T4R)
5G (64TRX)
5G (64TRX)

DL:50Mbps
UL:10Mbps

5000m~7000m
3339m/1381m
706m/669m

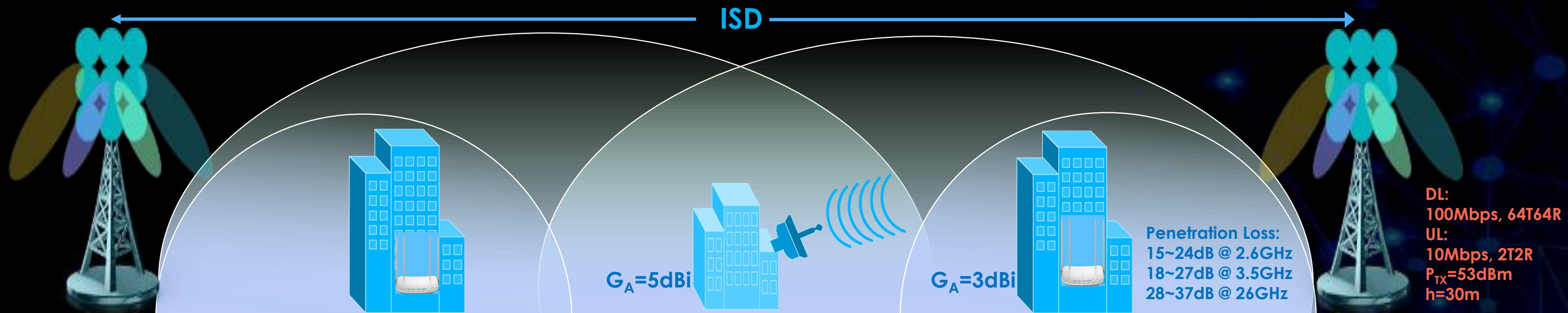
2000m~4000m
1018m/413m
227m/215m

2.6GHz (UL médio)
3.5GHz DL/UL
28GHz DL/UL

COBERTURA 3.5GHz x 26GHz x 2.6GHz

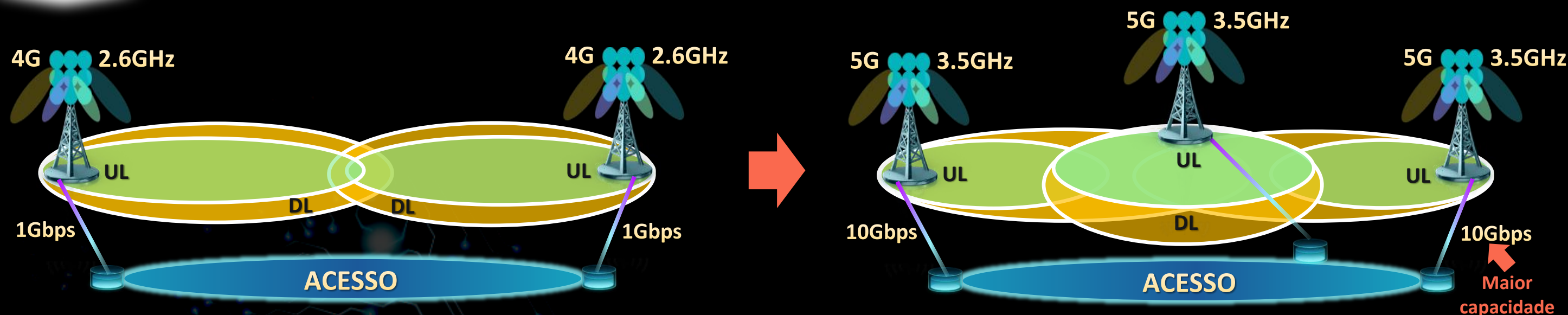


Comparação de cobertura em FWA: Distância entre as torres (sites)



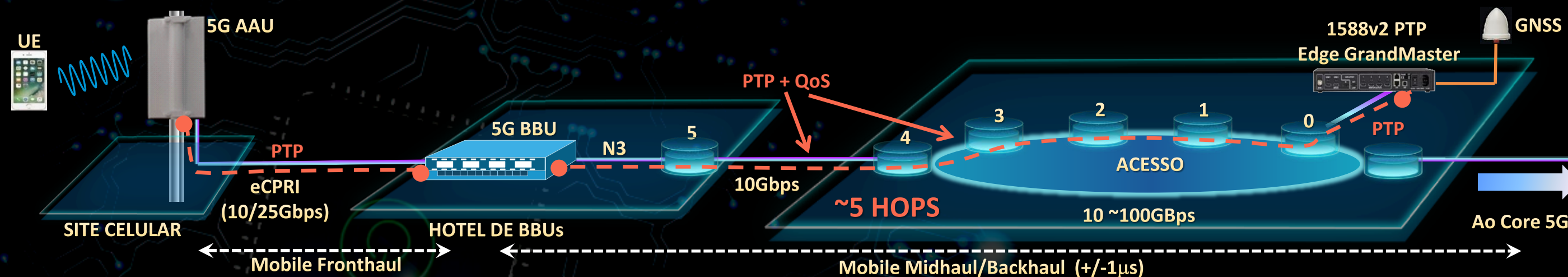
		CPE com antena externa	CPE indoor	Site Macro
URBANO DENSO	4G (4T4R)	200m~400m	200m~400m	ISD 2.6GHz (UL 4G)
	5G (64TRX)	830m/380m ✓	380m/150m ←	ISD 3.5GHz DL/UL
	5G (64TRX)	170m/160m ✗	120m/100m ✗	ISD 26GHz DL/UL
URBANO	4G (4T4R)	500m~600m	500m~600m	ISD 2.6GHz (UL 4G)
	5G (64TRX)	970m/580m ✓	780m/330m ←	ISD 3.5GHz DL/UL
	5G (64TRX)	300m/280m ✗	210m/190m ✗	ISD 26GHz DL/UL

OUTROS DESAFIOS TÉCNICOS



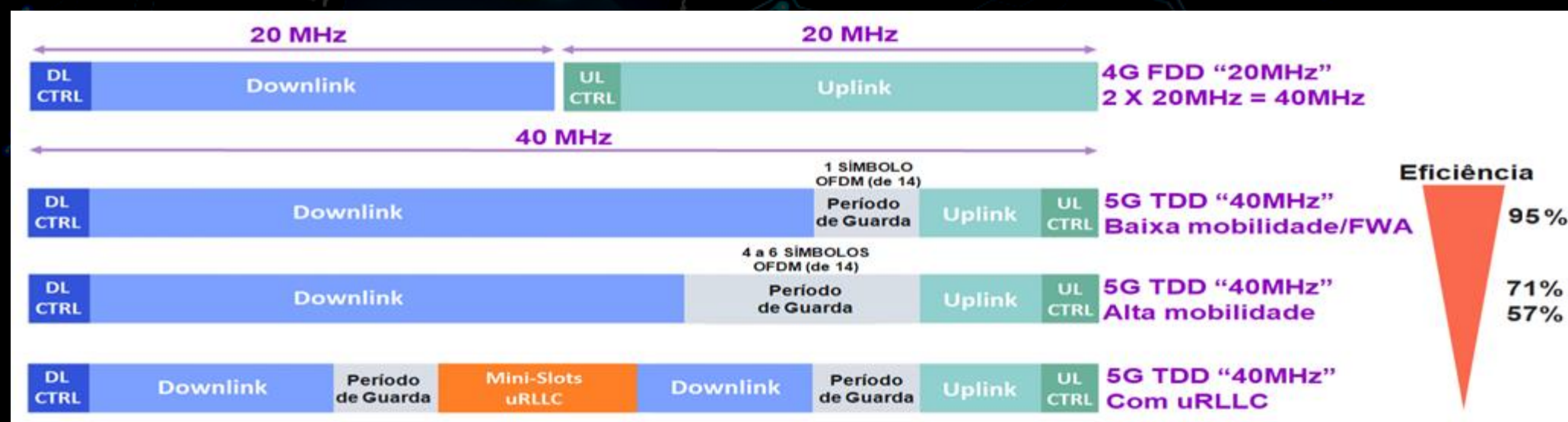
3.5GHz com mMIMO:

- Melhora da cobertura no DL (como em 1800MHz outdoor e como em 2600MHz indoor)
- Fraca cobertura no UL
- 50% a 80% mais sites
- Modernização/expansão das redes de acesso



5G TDD (2.3/3.5/26 GHz)

- Rede de sincronismo 1588v2 (PTP) mais distribuída e refinada
- Apenas +/- 1μs de erro de fase na transmissão (problema para regionalização)



5G TDD (2.3/3.5/26 GHz)

- Muito mais flexível que o FDD
- Permite o máximo desempenho das antenas mMIMO
- Mas...
- Precisamos de bastante espectro (divisão de tempo entre DL e UL)
- Necessário extremo cuidado no planejamento da rede, para não desperdiçar espectro por ineficiência, e coordenação para não haver interferências entre operadoras em frequências adjacentes - perfis TDD de DL x UL diferentes (problema para regionalização)

CAPACIDADES EM 3.5GHz E 26GHz

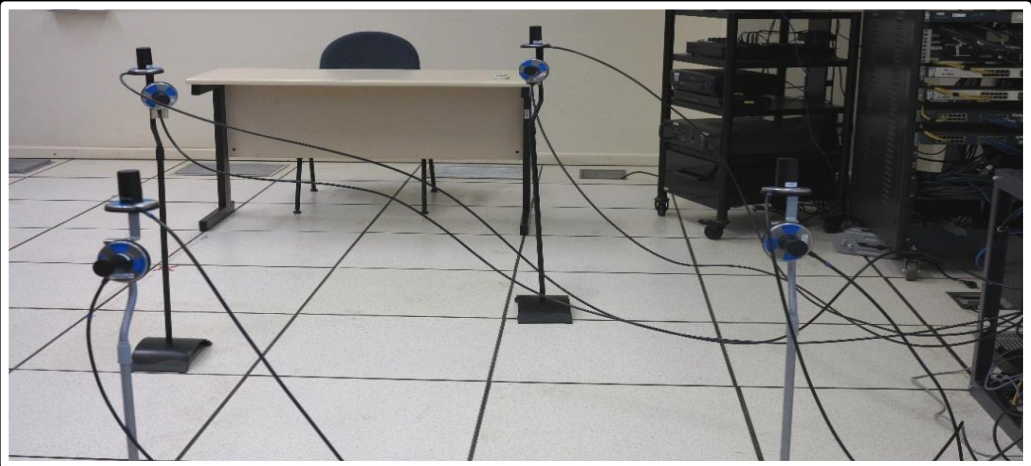


Capacidades para baixa mobilidade / FWA (Outdoor)

Downlink Outdoor 3.5GHz

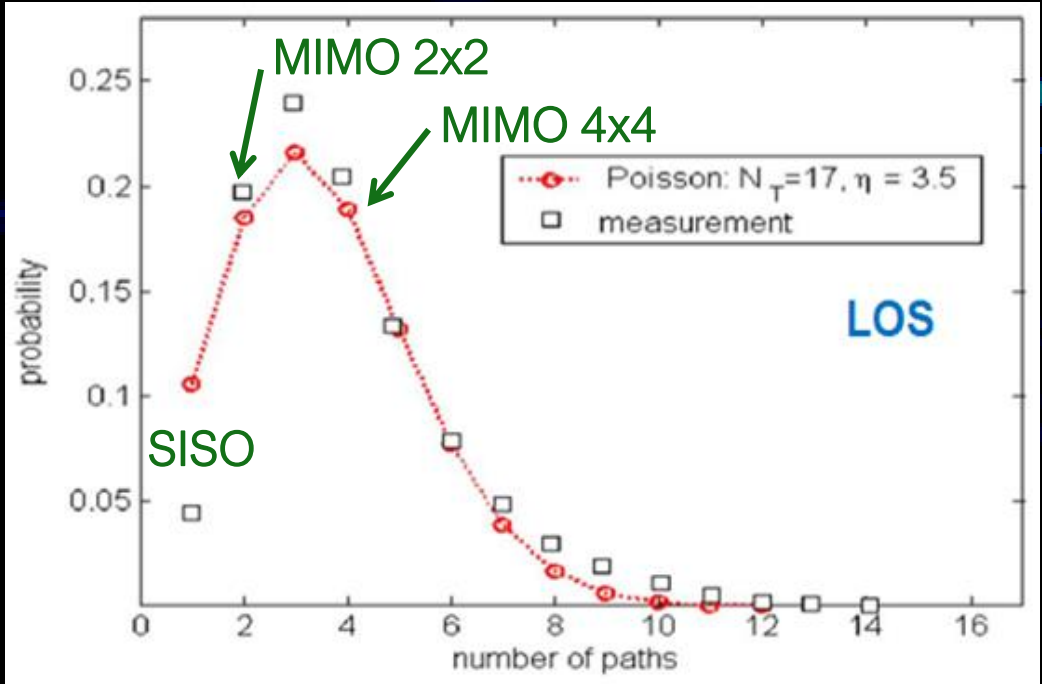
BW (MHz)	THROUGHPUT MÁXIMO TEÓRICO DA CÉLULA MIMO 4X4 - 75:20 (DL:UL) (Downlink Mbps)	THROUGHPUT MÉDIO DA CÉLULA MIMO 4X4 - 75:20 (DL:UL) (Downlink Mbps)	THROUGHPUT MÍNIMO -120dBm MIMO 4X4 - 75:20 (DL:UL) (Downlink Mbps)
50	922.360	~500	<50
60	1123.476	~600	<60
80	1504.904	~800	<80
100	1893.266	~1000	<100

Downlink indoor em 3.5GHz 100MHz / MIMO 8x8 3.26 Gbps



Downlink Outdoor 26GHz

BW (MHz)	THROUGHPUT MÁXIMO TEÓRICO DA CÉLULA MIMO 4X4 - 75:20 (DL:UL) (Downlink Mbps)	THROUGHPUT MÉDIO DA CÉLULA MIMO 4X4 - 75:20 (DL:UL) (Downlink Mbps)	THROUGHPUT MÉDIO DA CÉLULA MIMO 4X4 & 2x2 - 75:20 (DL:UL) (Downlink Mbps)
100	1745.695	<950	<700
200	3491.389	<1900	<1400
400	6982.779	<3800	<2800



IEEE: Probabilidades MIMO 4x4 e 2x2

NOVAS ANTENAS E TRANSMISSÃO



Estradas, cidades grandes e metrópoles

SITES MACRO

+300 leis municipais (burocracia e demora para licenciamento):

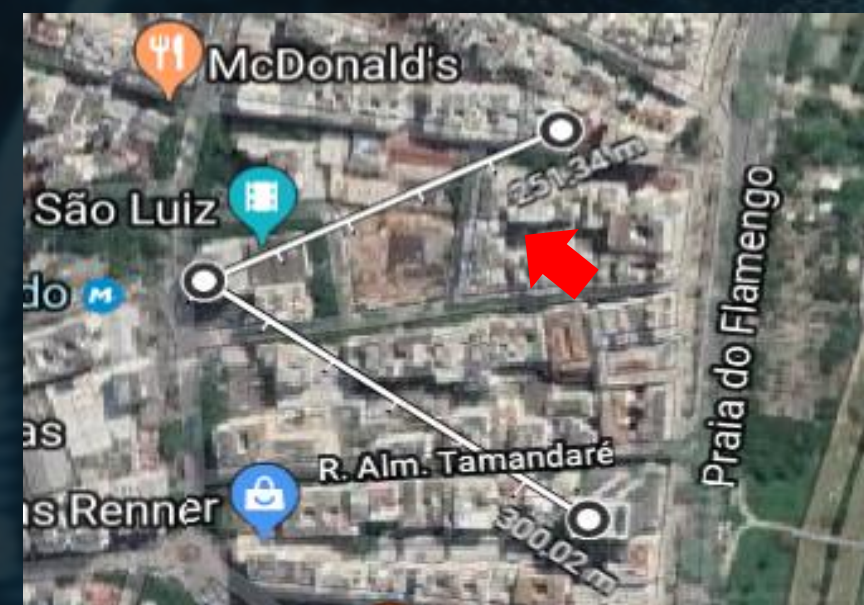
Impedem a instalação de cerca de 4 mil sites 4G

Distância mínima entre antenas de 500m

Recuo mínimo de 12m a 15m

Média de 1 ano para obter licença

Problema: Maior adensamento com 5G = + 70.000 sites 3.5GHz



Adensamento

**Limitado
pelas
prefeituras**

SMALL CELLS (Ex. 26GHz)

Leis municipais: aplicam-se as mesmas regras dos sites macro

25% dos postes superlotados, não há espaço

Necessário uso dos demais mobiliários urbanos



Postes

**Brasil x EUA
mmWave**

BACKHAUL / ACESSO

25% dos postes superlotados, desequilíbrio nos contratos

Direito de Passagem (ex: TPU com municípios e rodovias)

Lei Federal das Antenas, Art. 12 (bens públicos de uso comum)



Rodovias

**Obras e
rompimento
de fibras, redes
particulares**

OBRIGADO!

5G

A conceptual image featuring a hand pointing towards a globe. The globe is overlaid with a network of glowing lines and nodes, representing a global communication network. The text '5G' is prominently displayed in the center of the globe. The background is a deep blue with a subtle grid pattern.