

DEMAREST

Doc. 01



IMPLANTAÇÃO DO 5G NO BRASIL

Lições dos primeiros anos de uso da faixa de 3,5GHz pelas redes 5G e expectativas futuras

Por [Agostinho Linhares](#) e [Leonardo Euler de Moraes](#)

<https://ipedigital.tech>

RESUMO

O reuso da infraestrutura de telecomunicações já existente foi essencial para a rápida implantação das redes 5G no Brasil e na Europa. O mesmo fenômeno deve ocorrer nas futuras redes 5.5G/6G operando na faixa de 6/7 GHz.



SUMÁRIO EXECUTIVO

A implementação e expansão das redes 5G no Brasil são essenciais para a transformação digital e o desenvolvimento econômico do país. Não se trata apenas de aumento de velocidade de conexão, tal qual ocorreu na transição da tecnologia de terceira para quarta geração de redes móveis, mas de uma nova plataforma tecnológica que envolve e potencializa outras tecnologias como, por exemplo, robótica e realidade virtual.

Sem embargo, seu potencial disruptivo ainda está por se materializar à medida que a implementação de suas possibilidades seja albergada nos processos produtivos e difundida em verticais como automação industrial, logística, saúde, agronegócio e educação. De forma correlata, todavia subsiste o desafio de monetização dos recursos e facetas do 5G. Seu endereçamento passa pelo mercado B2B como uma das possíveis chaves de acréscimo de receita das operadoras. De toda sorte, é preciso lembrar que, no que tange às aplicações, as pessoas nunca utilizam a tecnologia apenas da forma como os engenheiros a projetam. Em outros termos, a criatividade humana exerce papel central na forma de uso de novos conceitos tecnológicos.

Noutra vertente, a disponibilidade de infraestrutura passiva de suporte às redes móveis não representou gargalo para a implementação para esse novo padrão. Dados revelam que o uso da infraestrutura passiva existente (torres e sítios de instalação de antenas de telecomunicações) se apresentou determinante para a implantação das redes 5G no Brasil. Afinal, 87% das estações rádio base 5G reutilizam estruturas anteriormente instaladas e que servem também de suporte às redes pretéritas (2G, 3G e 4G). Aliás, a superação das lacunas digitais requer políticas públicas eficazes e as redes 4G em frequências mais baixas (dado o maior raio de cobertura) são fundamentais na solução do problema de conectividade.

O reuso de infraestrutura existente foi essencial para a rápida implementação do 5G não apenas na realidade brasileira. Essa prática foi também adotada na Europa. Afinal, reduz as barreiras e diminui a necessidade de novos sítios. Vale lembrar que dentre às barreiras à instalação da infraestrutura de telecomunicações necessária para garantir conectividade digital, destaca-se a dificuldade na obtenção de licenças municipais para a instalação de torres e sítios de antenas de telecomunicações

Ademais, o compartilhamento de infraestrutura passiva pode reduzir custos operacionais em até 30%, enquanto o compartilhamento ativo pode ampliar essa



redução para até 60%. Essa abordagem não só diminui os custos de capital e operacionais, mas também acelera a implantação de novos sistemas e está alinhada com a sustentabilidade, reduzindo o impacto visual e ambiental.

Consoante mencionado alhures, a implementação do 5G no Brasil, utilizando majoritariamente a infraestrutura passiva existente, reflete um padrão similar ao observado na Europa. A cobertura mais ampla é fornecida por macro-sítios, enquanto *small cells* melhoram a experiência do usuário em áreas de alta demanda. Portanto, o incentivo ao compartilhamento de infraestrutura é recomendado, pois traz ganhos de eficiência e competitividade.

Por fim, a expansão do 5G depende de esforços conjuntos entre governo, operadoras e provedores de infraestrutura para que os benefícios dessa tecnologia sejam amplamente distribuídos, incluindo o incentivo à inovação e à competitividade do Brasil no cenário global de forma a criar oportunidades para novo negócios e gerar ganhos de produtividade ao perpassar indústrias de todos os setores e tamanhos diversos.



1 - Introdução

A Transformação Digital representa e relaciona-se ao uso de novas ferramentas digitais a fim de otimizar processos e ampliar o alcance de operação das empresas, gerando novos modelos de negócios. A partir dos pilares pessoas + processos + tecnologia, é possível transformar a sociedade e a economia, aumentando a competitividade e criando aplicações. As redes 5G são habilitadoras da transformação digital e desse novo mercado dela decorrente.

Após o bem-sucedido “Leilão 5G”, que ocorreu em novembro de 2021, o Brasil vem implantando a nova tecnologia de prestação de serviços móveis em suas principais cidades, antecipando o cronograma das obrigações de cobertura estabelecidas pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel). Para o sucesso da implementação do 5G no Brasil, deve ser ressaltada a importância de se ter leis municipais que facilitem a instalação da infraestrutura moderna e necessária para essas redes, tais como torres, postes, topo e fachada de prédios, que são elementos essenciais de infraestrutura passiva para suporte da nova geração de redes móveis.

Os benefícios do 5G vão muito além da velocidade de conexão para os usuários, pois a redução na latência de sua comunicação e a possibilidade de altíssima densidade dispositivos conectados por km² viabilizam uma série de novas aplicações. Na área de saúde, por exemplo, a rede 5G pode facilitar o avanço da telemedicina, permitindo monitoramento de pacientes à distância e auxiliando em diagnósticos mais rápidos, especialmente em regiões de difícil acesso. No *agrobusiness*, a tecnologia viabiliza a agricultura de alta precisão, com o uso de sensores e de drones, que recolhem dados em tempo real sobre o solo, existência de pragas, além de identificar condições climáticas, ajudando os agricultores a otimizarem recursos e aumentar a produtividade. Na educação, o 5G pode ampliar o alcance do ensino remoto e viabilizar o uso de ferramentas inovadoras, como a realidade virtual, aumentada e expandida para criar experiências de aprendizado mais interativas.

Outro grande impacto está no desenvolvimento da Internet das Coisas (IoT), que depende de conexões ágeis e confiáveis para que dispositivos, como sensores e câmeras inteligentes, funcionem de forma integrada. Com o 5G, é possível avançar na criação de *smart cities*, onde o monitoramento em tempo real contribui para uma gestão mais eficiente, por exemplo, do trânsito e da segurança pública, contribuindo ao bem-estar social.



Do ponto de vista econômico, o 5G impulsiona a inovação e aumenta a competitividade do Brasil no cenário global. Com a tecnologia, surgem oportunidades para novos negócios, a beneficiar desde grandes indústrias até pequenas e médias empresas, que podem ganhar acesso mais fácil a mercados e clientes. A indústria, em especial, pode se beneficiar da automação avançada e de uma comunicação em tempo real entre máquinas, o que tende a aumentar a eficiência produtiva e reduzir custos.

Na discussão entre o que a tecnologia permite fazer e se existem modelos de negócios viáveis para cada nova aplicação em potencial, resta evidente que ainda é preciso enfrentar vários desafios. Para isso, é necessário esforço conjunto entre Anatel, prestadoras de serviços de telecomunicações, provedoras de infraestrutura e governos, a fim de que os benefícios do 5G alcancem todos os brasileiros.

Com relação à instalação de infraestrutura passiva, nota-se que nos primeiros três anos de implantação do 5G no Brasil, tem-se privilegiado a utilização da infraestrutura já existente, o que mostra que o setor de telecomunicações já vinha se preparando desde há muito para a chegada do 5G, com melhorias em suas redes, ampliação no uso de fibras ópticas, e adensamento de infraestruturas de fixação e estações nas áreas mais urbanas.

Destaca-se que, quando se trata de cobertura de Internet móvel, há dois elementos principais a serem considerados: (i) cobertura; e (ii) capacidade. A cobertura se atende pela implantação de estações rádio base (ERB), com distância entre si relacionadas com a característica de cobertura de faixa de operação específica, de maneira que quanto mais alta a faixa de frequências, menor o alcance da cobertura. Já em relação à capacidade, promove-se um adensamento de estações para ampliar a capacidade de tráfego da rede, permitindo uma melhor cobertura *indoor* e redução de áreas de sombra.

Importante notar que toda a evolução inicial da infraestrutura passiva nas redes 2G, 3G e 4G, foi importante para que as redes 5G utilizassem, agora, boa parte da infraestrutura já implantada, como as torres. Assim, a partir de dados empíricos, obtidos por meio da base de dados da Anatel, pretende-se aqui mostrar que a implantação das redes 5G no Brasil se deu principalmente utilizando a infraestrutura passiva existente, sem a construção de novas torres de grande porte. Esse mesmo padrão ocorreu na Europa, como também será mostrado.

2 – A Partir de Dados Internacionais, Qual Era a Expectativa de Adensamento de Estações 5G em Áreas Urbanas?

A União Internacional de Telecomunicações (UIT) é a responsável pelo padrão IMT (*International Mobile Telecommunications*). O termo IMT é um conceito, em que diferentes tecnologias submetem ao *Working Parting 5D* (WP 5D) da UIT suas especificações, de modo a receber o “selo” IMT, caso atendidos todos os requisitos. Foi assim que ocorreu com o padrão 5G do 3GPP (*NR – New Radio*) e com diversos outros padrões, que foram classificados como atendendo aos requisitos IMT (em diferentes famílias, IMT-2000, IMT-Advanced, ou IMT-2020).

Destacam-se as discussões sobre a identificação de faixas para o IMT-2020 (nome formal para o 5G), em que se considerava futuras implementações típicas em diferentes faixas de frequências. O Relatório do Presidente do WP 5D, para o ciclo 2019-2023, Documento n.º 716, Anexo 4.4, previa para a faixa de 3,5 GHz, quando utilizadas antenas *beamforming*, a separação entre ERBs em uma distância de referência de 600 (seiscentos) metros em ambientes urbanos, e de 1.200 (um mil e duzentos) metros em ambientes suburbanos.

A Fig.1 apresenta o *grid* típico teórico para implantação de sistemas 5G operando na faixa de 3,5 GHz.

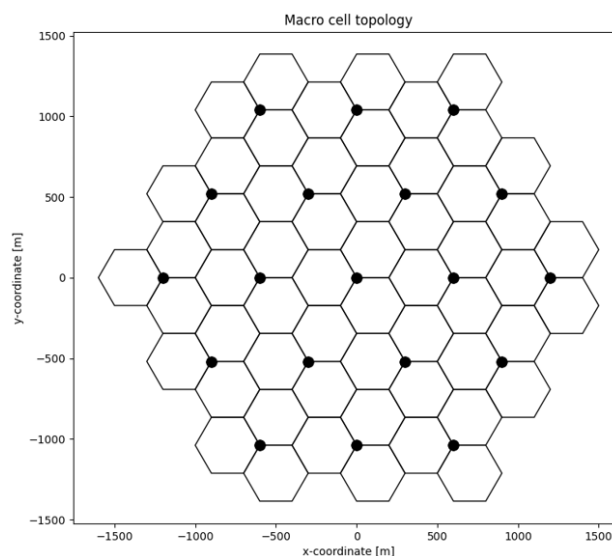


Fig. 1 – Os pontos pretos representam sítios com 3 setores operando na faixa de 3,5 GHz. Os sítios distam 600 metros entre si e a densidade de estações é de 3,33 ERB's/km² por operadora.

Destaca-se que tecnologias como *Massive MIMO* (*Multiple-Input Multiple-Output*) e antenas inteligentes (*beamforming* ou conformação de feixes) são essenciais para ampliar o alcance e, conseqüentemente, a área de cobertura das ERB's 5G

operando na faixa de 3,5 GHz. Assim se facilita o reuso do *grid* existente, p.ex., pelos sistemas LTE (4G) na faixa de 2,6 GHz. Isso resulta pois o IMT operando na faixa de 3,5 GHz, tendo uma atenuação maior para as mesmas distâncias percorridas pela onda eletromagnética, quando implementa *Massive MIMO* com *beamforming* gera aumento de potência efetiva isotropicamente radiada devido aos múltiplos transmissores e o aumento do ganho das antenas inteligentes, que permitem compensar o acréscimo nas perdas de propagação. Ademais, na medida em que ocorreu um adensamento das ERB's 4G na faixa de 2,6 GHz para aumentar a capacidade da rede, o reuso da infraestrutura existente não é surpresa, ainda mais quando se considera os avanços dos sistemas 5G apresentados anteriormente.

3 – Sobre a Infraestrutura de Rede Móveis

As redes móveis utilizam diferentes tecnologias (2G, 3G, 4G e 5G) em diferentes faixas de radiofrequências (700 MHz – 3,7 GHz) para conectar dispositivos móveis até o núcleo da rede, tendo as ERB's papel essencial, pois são distribuídas por locais estratégicos, de modo a garantir capacidade e cobertura, preferencialmente localizadas perto dos usuários para melhorar a eficiência, fornecendo uma conexão de boa qualidade. A Figura 2 ilustra a distribuição de uma infraestrutura de rede móvel e antenas em uma área urbana.

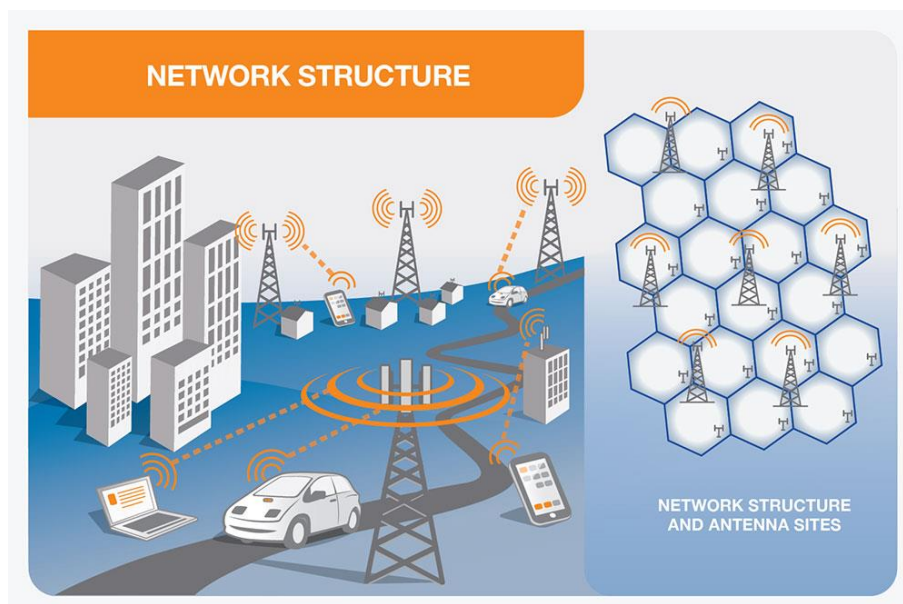


Fig.2 – Exemplos de estruturas de redes móveis em uma cidade.
Fonte: Suplemento 4, da Recomendação ITU-T K.91, disponível em <https://www.itu.int/rec/T-REC-K.Sup4-201809-I>



Há diferentes tipos de ERB, que são classificadas devido, principalmente, suas características de potência e altura de instalação da antena. Para simplificar essa classificação, apresenta-se a seguir os tipos básicos:

- ❖ ERB de Grande Porte (*macro-base station*): as ERB's de grande porte utilizam antenas instaladas em torres ou topos de prédios para cobrir grandes áreas geográficas.
- ❖ ERB de Pequeno Porte (*small cell*¹): ERB de pequeno porte são estações de mais baixa potência (em relação às *macro-base station*), em que as antenas são instaladas mais próximas dos *smartphones*. Essas ERB's eventualmente recebem outros nomes como micro células, pico células ou femto células. É comum o uso desse tipo de equipamento em ambientes internos (*indoor*), como *shopping centers*, estações de metrô, estádios/ginásios e praças, ou ambientes externos (*outdoor*), como em postes ou fachadas de prédios.

Esses diferentes tipos de ERB's são utilizados para construir o que se chama de rede multicamada² (*multi-layer network*). Redes multicamadas intensificam a cobertura e absorvem tráfego, melhorando a experiência do usuário, aumentando a competitividade da rede e impulsionando a evolução do 5G (Huawei, 2017).

A primeira camada é de cobertura mais ampla e contínua fornecida por macro sítios tradicionais, com ERB de Grande Porte, atendendo aos requisitos básicos de cobertura e capacidade. As operadoras geralmente utilizam sítios macro em torres ou no alto de prédios, com antenas instaladas a mais de 20 metros de altura. A distância entre esses sítios tipicamente excede 500 metros. A cobertura contínua fornecida por sítios macro é a camada básica da rede e atende aos requisitos básicos de serviço de dados.

A segunda camada utiliza tipicamente ERB's de Pequeno Porte. Comumente instaladas em postes, proveem cobertura de até algumas centenas de metros, com o objetivo de melhorar a experiência do usuário e eliminar pequenas áreas de sombra.

¹ O conceito de *small cell* envolve mais o cenário de uso e expectativa de cobertura do que o estabelecimento de um limite de potência. Comumente, mas não necessariamente, *small cell* atende os limites do *medium range BS* ou *Local Area BS*, definido nas especificações técnicas TS 38.104 e TS 36.104 do 3GPP. Vale observar que a Lei nº 13.116/2015 e seu Decreto regulamentador (Dec. nº 10.480/2020) tratam, entre outras coisas, de infraestrutura de redes de telecomunicações de pequeno porte, sem definir limites de potência. Por outro lado, a Lei nº 5.070/66 define diferentes valores de FISTEL em função da potência de saída do transmissor da ERB.

² Também chamada de rede heterogênea.



Podem haver variações de categorização, mas de uma maneira geral, a terceira camada busca a melhoria de cobertura *indoor* e a atender a altas demandas de tráfego.

Nesse contexto, é importante separar a infraestrutura de suporte (ex., a torre), da estação transmissora de radiocomunicação (ex.: ERB), do próprio sítio. O primeiro representa os meios físicos fixos construídos para dar suporte às estações transmissoras de radiocomunicação, enquanto o segundo é o conjunto de equipamentos e demais meios necessários à realização de comunicação por ondas eletromagnéticas na faixa de radiofrequências. Por fim, o sítio é a área física em que são instalados o contêiner com os diversos equipamentos e sistemas, incluindo o *backhaul*, infraestrutura de suporte e antenas.

Conforme indicado em (ITU-T, 2020), o compartilhamento da infraestrutura passiva pode reduzir custos das operadoras em até 30%, e, também, o compartilhamento da infraestrutura ativa pode ampliar a redução de custos entre 50%-60%. Por isso, a UIT recomenda que Estados Membros incentivem o compartilhamento de infraestrutura, uma vez que trará oportunidades de ganhos de eficiência, aumentando a competitividade.

No artigo “*Infrastructure Sharing: An Overview*” (GSMA, 2019) são apresentados argumentos sobre o porquê de compartilhar infraestrutura, que incluem questões como: (i) dificuldade na aquisição de novos sítios para a rede de acesso; (ii) redução de custos para implantação do 5G; (iii) racionalização da infraestrutura de redes legadas (ex. 2G e 3G); o incentivo que novas tecnologias, como NFV (*Network Function Virtualisation*) e SDN (*Software Defined Networking*), oferecem ao compartilhamento; (iv) diversificação de investimentos em outras inovações; (v) método efetivo para redução de custo de infraestrutura frente ao aumento de demanda por mais capacidade; (vi) benefícios sociais, incluindo a transferência da redução dos custos de infraestrutura nos custos dos serviços, redução no consumo de energia.

A Tabela I apresenta os prós e contras do compartilhamento da infraestrutura passiva:



Tabela I – Prós e Contra do Compartilhamento da Infraestrutura Passiva

Prós	Contra
<ul style="list-style-type: none">- Economia significativa de CAPEX/OPEX- Menor risco na aquisição de sítios- Diferenciação completa e controle total do espectro- Controle sobre os sites a serem compartilhados- Poucos/nenhum obstáculo regulatório- Migração fácil para outras formas de compartilhamento- Benefícios ambientais	<ul style="list-style-type: none">- Disponibilidade de espaço livre nos sítios existentes (caso sítios existentes sejam compartilhados)- Pode ser necessário um planejamento de células semelhante

Fonte: (GSMA,2019)

Destaca-se também a facilitação de migração mais fácil para outras formas de compartilhamento, pois o compartilhamento da infraestrutura passiva é o primeiro passo para o compartilhamento da infraestrutura ativa, possibilitando o desenvolvimento de modelos como o MORAN (*Multi-Operator Radio Access Network*) e o MOCN (*Multi-Operator Core Network*).

Outro documento relevante da UIT (ITU-T, 2018) indica vantagens adicionais do compartilhamento de infraestrutura, dentre os quais:

- ✓ Implantação mais rápida e ampla de cobertura em novas áreas geográficas e mal atendidas;
- ✓ Redução do número de sítios de antenas;
- ✓ Redução da pegada de energia e carbono das redes móveis;
- ✓ Redução do impacto ambiental da infraestrutura móvel na paisagem;
- ✓ Otimização do uso do espectro de radiofrequências e aumento das velocidades de dados por meio do compartilhamento ativo das frequências.

4 - Infraestrutura Existente no Brasil

A partir dos dados de licenciamento de estações disponíveis no sítio da Anatel é possível tecer diversas avaliações. A Tabela II apresenta o quantitativo de estações de cada operadora detentora de direito de uso de radiofrequências na faixa de 3,5 GHz, em função de seu tipo.



Tabela II – Quantitativo de Estações por Tipo das Operadoras Brasileiras

Tipo	Algar	Brisanet	Claro	TIM	Unifique	Vivo	Total
COW	-	-	27	17	-	-	44
<i>Fastsite</i>	-	-	4	-	-	-	4
<i>Greenfield</i>	115	-	4.012	3.347	-	3.234	10.708
Harmonizada	-	-	26	28	-	-	54
Indoor	-	-	167	56	-	10	233
Outdoor	-	-	78	-	-	-	78
<i>Ran Sharing</i>	-	-	96	5	-	36	137
<i>Rooftop</i>	8	-	2.279	1.533	-	1.090	4.910
<i>SmallCell</i>	-	-	-	4	-	3	7
<i>Streetlevel</i>	-	-	34	129	-	-	163
Não Identificadas	61	1.216	2.318	3.511	34	3.274	10.414
Total	184	1.216	9.041	8.630	34	7.647	26.752

Como o campo de descrição da estação no sistema da Anatel não é de preenchimento obrigatório, há mais de 10 mil estações sem tal classificação, representando 38,9% do total de estações 5G em 3,5 GHz.

A Consultoria Teleco³ tratou esses dados de tal forma a possibilitar diversas considerações, tais como:

- 87,3%⁴ das estações 5G foram instaladas em infraestrutura já existente⁵ ou muito próximas a elas (distância inferior a 40 metros);
- 12,7% das ERB's 5G foram implantadas em novas infraestruturas. Desse quantitativo, 69,4% a uma distância de 40 metros a 500 metros de uma infraestrutura já existente, e 30,6% a uma distância superior a 500 metros de infraestrutura pré-existente.

³ <https://www.teleco.com.br/emdebate/etude10.asp>

⁴ $(1 - 3.384/26.752) = 0,873$.

⁵ Por estrutura existente, considera-se o retrato de dezembro de 2020.



- Das estruturas existentes, 64% possuem apenas uma operadora;
- Do total de estações 5G instaladas, 40% são *greenfield* (instaladas em terrenos), 18,4% *rooftop* (instaladas em coberturas de edifícios) e 40% não tem identificação (logo, podendo ser também *greenfield* ou *rooftop*);
- Do total de estações 5G instaladas, 99,4% possuem equipamentos com potência superior a 10W, categorizadas, na avaliação da Teleco, como de grande porte.

A partir dessas informações, depreende-se que as ERB's 5G instaladas no Brasil (até agosto de 2024) são predominantemente de grande porte e estão sendo instaladas principalmente nas infraestruturas já existentes.

Esses números de certa forma já eram esperados, pois, conforme apresentado anteriormente, nos grandes centros as estações operando em frequências mais baixas já eram implementadas buscando uma maior capacidade de rede, de tal forma que já existia um maior adensamento de estações, conseqüentemente a operação do 5G, mesmo em frequência mais alta, pôde aproveitar grande parte da infraestrutura existente. Posteriormente, será mostrado que esse padrão se repetiu na Europa.

Não obstante a importância do reuso da infraestrutura existente e seu papel na implementação inicial das redes 5G, é de se esperar que determinadas áreas densamente urbanizadas demandem a complementação de capacidade, por meio de instalações de estações de menor porte, tipicamente instaladas em postes, fachada (ou topo) de prédios, ou ambientes *indoor*. Essas *small cells* cobrirão, p.ex., áreas como praças, ruas muito movimentadas, estádios, *shopping centers*, rodoviárias e aeroportos. A demanda por elas decorre da necessidade de atender um alto nível de tráfego devido a concentração de pessoas em uma área mais delimitada, além de eliminar áreas de sombra.

5 – Exposição a Campos Eletromagnéticos Associados a Sítios Compartilhados

As antenas costumam ser agrupadas em torres ou postes. A combinação apresentada na Fig.3 é de uma antena omnidirecional posicionada acima de um conjunto de três antenas setoriais. Em locais onde há várias antenas, sempre que uma nova antena for adicionada, o limite de conformidade de cada antena, assim como do conjunto, deve ser reavaliado para considerar a exposição adicional gerada pela nova instalação (ITU, 2018).

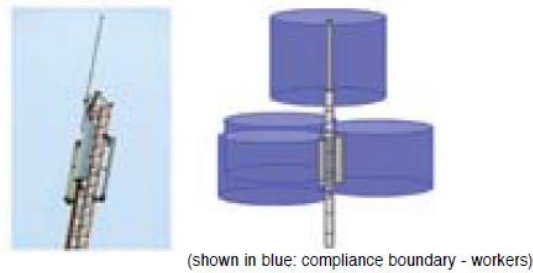


Fig.3 – Exemplo de estação com diversas antenas e suas zonas de conformidade com os limites de exposição (dos trabalhadores).
Fonte: UIT.

Nos termos do [Ato nº 458/2019 – Anatel](#), em estrutura de suporte compartilhada, deve-se combinar os parâmetros das antenas para definir a fronteira do domínio de avaliação (ADB – sigla em inglês para *assessment domain boundary*), ou seja, deve ocorrer uma sobreposição, adição e extrapolação das zonas de conformidade, levando a uma zona combinada maior do que as zonas individuais das antenas (ver Fig.4).

No entanto, em termos de exposição efetiva da população, deve-se avaliar a intensidade do campo elétrico e(ou) magnético no local onde a pessoa pode ser exposta, que para estações *outdoor*, é tipicamente no nível do solo (mais uma altura de referência). Assim, por mais que muitos acreditem que um maior número de antenas nas áreas ao redor resultará em níveis de exposição mais altos em áreas acessíveis ao público, medições realizadas na Alemanha demonstraram que nem a distância até a antena nem o número de antenas visíveis são indicadores precisos de exposição aos campos eletromagnéticos. Em vez disso, a orientação do lóbulo principal da antena constitui o principal fator que influencia a exposição (ITU, 2018).

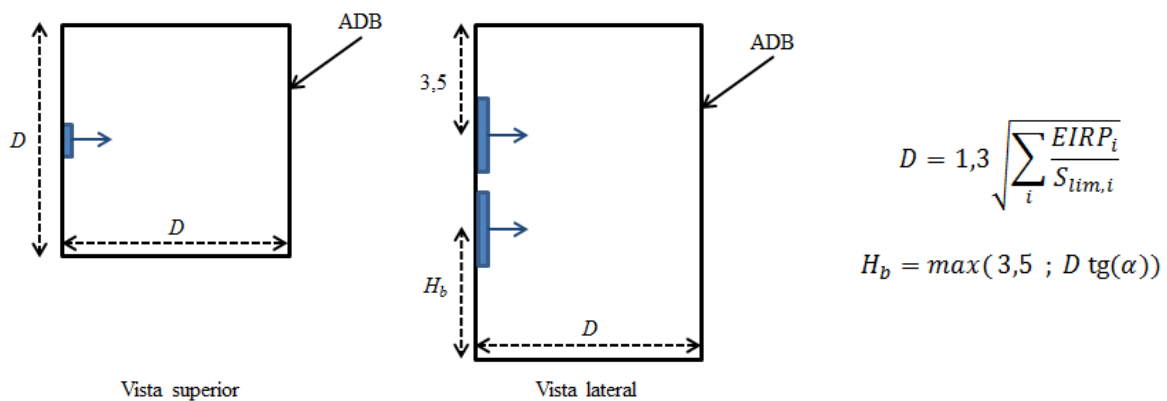


Fig.4 – Determinação do ADB em uma estrutura de suporte compartilhada com antenas setoriais de mesmo azimute. A fórmula para o cálculo do parâmetro “D” soma a EIRP de cada antena que esteja no mesmo azimute.
Fonte: Anatel.



Para corroborar com a afirmação anterior foi realizada uma simulação utilizando o *software* EMF-Estimator, versão 8.1.64, que é parte integrante da [Recomendação ITU-T K.70 \(12/2020\)](#) “*Mitigation techniques to limit human exposure to EMFs in the vicinity of radiocommunicatio stations*”. Foram considerados dois cenários: (i) torre compartilhada com dois sistemas radiantes operando na faixa de 900 MHz, com EIRP de 1 kW, sendo uma antena localizada na altura de 35m, e outra em 20m, ambas com *downtilt* de 5 graus; (ii) torres espaçadas em 500m, cada uma com um único equipamento, que possui as mesmas características do sistema operando no cenário 1 na altura de 20m, porém, com azimutes opostos (ex. um apontando para o Norte, outro para o Sul).

A Figura 5 indica que a exposição máxima do cenário 1 foi de 0,1% do limite máximo de exposição, tendo como referência os limites do ICNIRP (os mesmos limites estabelecidos no Brasil). Por outro lado, o cenário 2, que também possui 2 transmissores, porém em torres diferentes, apresentou um nível de exposição de aproximadamente 0,11% do limite máximo de exposição (ver Figura 6). Esse exercício foi só para mostrar que o acréscimo de uma segunda antena pouco impactou na exposição máxima do cenário 1, e que o cenário 2, com dois sistemas de mesma potência, porém em torres diferentes, apresentou o pico de exposição superior ao do primeiro cenário. Independente dos picos de exposição simulados, o importante é que todos os casos tais valores estão muito abaixo (quase 1000x) do limite normativo. (Linhares, 2022) indicou que o quociente de exposição total de um cenário teórico com um número infinito de ERB's, uniformemente distribuídos, operando nas faixas de 700 MHz, 850 MHz, 1.800 MHz, 2.100 MHz e 2.600 MHz, não ultrapassaria 2,62% do limite de exposição normativo. Esses valores foram confirmados com medições na cidade de Brasília. Resumindo, a exposição a campos eletromagnéticos associados às ERB's é muito baixa, e independentemente do compartilhamento de estações, os valores de exposição continuam muito abaixo do limite normativo.

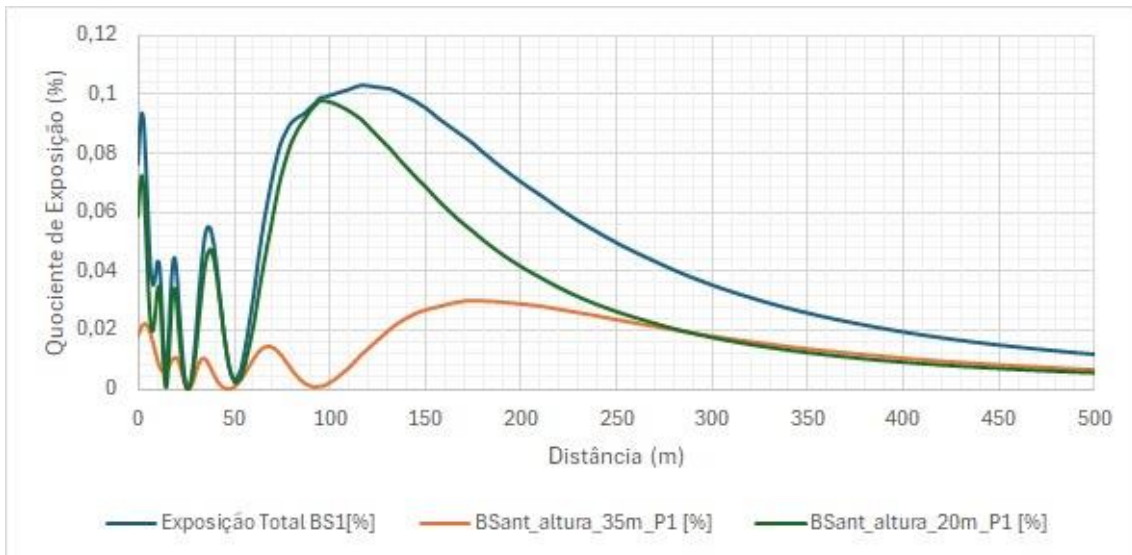


Fig. 5 – Dois sistemas equivalentes, porém um com antena na altura de 20m e outro com antena a 35 apresentam resultados de exposição bem diferentes, devido a diferença nas alturas e no apontamento das antenas.

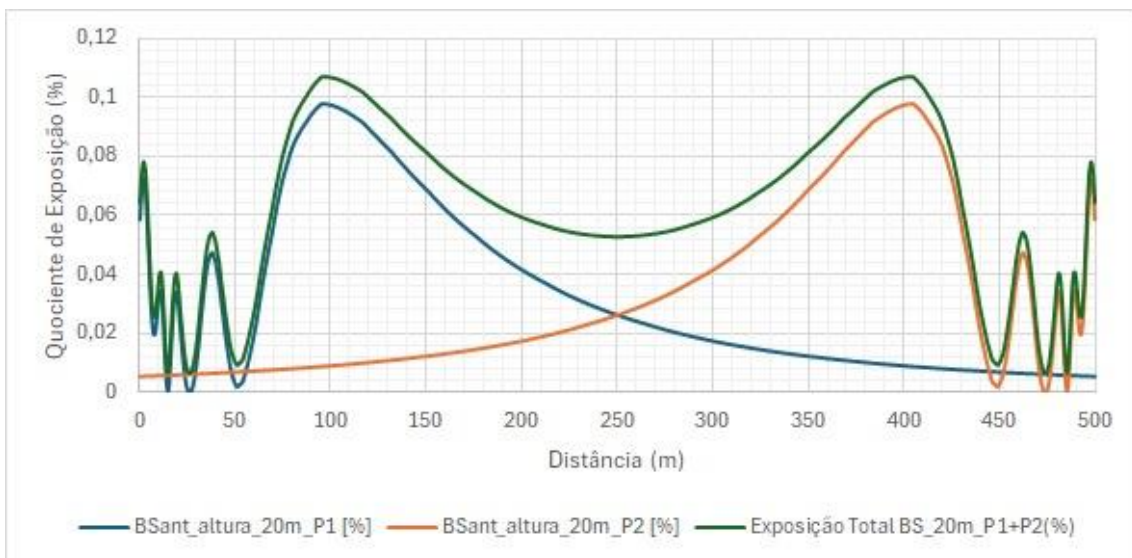


Fig. 6 – Duas torres, uma no ponto 0m e outra no ponto 500m. Cada torre com um único sistema radiante, com antena a 20m de altura. Os resultados indicam uma exposição maior em relação ao cenário 1.

Recentemente, a GSMA divulgou estudo em que agências nacionais de saúde, reguladores governamentais, instituições acadêmicas, laboratórios de teste, operadoras móveis e fabricantes de diversos países realizaram testes extensivos em redes comerciais e para determinar os níveis de exposição aos campos eletromagnéticos (CEM) do 5G. A conclusão foi que a máxima exposição aos CEM do 5G são tipicamente inferiores a 1% do limite normativo recomendado pela Organização Mundial de Saúde (GSMA, 2024).

6 – Experiência Internacional

Estima-se que existam 5,2 milhões de torres no mundo (Mason, 2024). Somente nos principais mercados da Europa⁶ existiam 389 mil sítios para ERB's de grande porte em 2023 e a implementação do 5G demandará um acréscimo de 13% desses sítios até 2030 (Mason, 2023). Se por um lado, o acréscimo de sítios para ERB's de Grande Porte será pequeno, por outro, o número de *small cells* deverá praticamente triplicar, conforme indicado na Fig. 7.

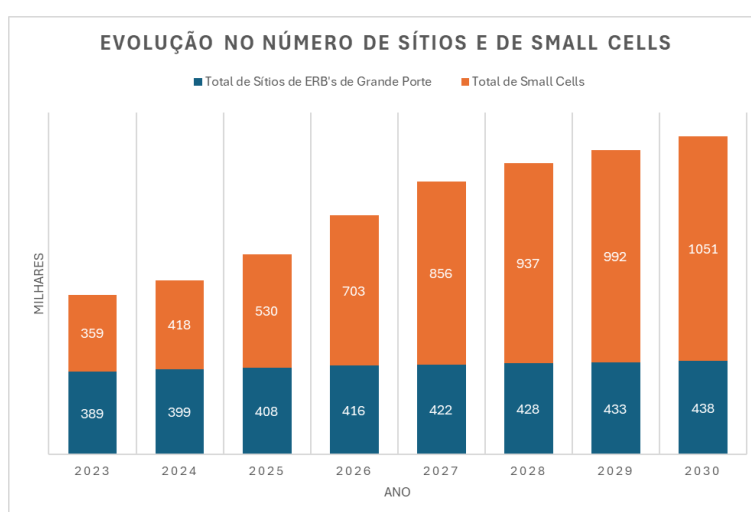


Fig.7 – De 2023 a 2030 espera-se o acréscimo de 13% no número de sítios de ERB's de Grande Porte e de 193% no número de *small cells*.
Fonte: Analysys Mason.

Assim, percebe-se que o padrão de desenvolvimento do 5G no Brasil, seguiu o mesmo fenômeno europeu, em que a infraestrutura existente utilizada por sistemas 2G, 3G e 4G foi amplamente aproveitada para implementação inicial do 5G. Essa implementação garante a cobertura em grandes áreas, porém, para a melhoria da experiência do usuário espera-se a ampliação no número de *small cells*. Os novos sítios para ERB's de grande porte poderão ser utilizados principalmente para a expansão das redes 5G (e tecnologias anteriores), principalmente em áreas menos urbanizadas.

O compartilhamento de infraestrutura na Europa, assim como ocorreu no Brasil, foi essencial para acelerar a implementação do 5G. De acordo com (Mason, 2023), o

⁶ Alemanha, França, Itália, Espanha, Polônia, Áustria, Finlândia, Suécia, Romênia, República Tcheca, Grécia, Holanda, Dinamarca, Portugal e Bélgica, que representam aproximadamente ¼ do total de sítios na Europa.



compartilhamento realizado pelas empresas conhecidas como torreiras (*Towerco* ou *Tower Company*, em inglês) diminuem as barreiras de compartilhamento, que pode existir devido uma operadora ver outra como competidora direta, consequentemente reduzindo a necessidade de grandes sítios adicionais (Mason, 2023). A partir dessa avaliação da *Analysys Mason* pode-se inferir que o compartilhamento de infraestruturas passivas realizadas pelas torreiras incentiva a competição, pois o *core business* dessas entidades é exatamente disponibilizar a infraestrutura de forma eficiente para todos os interessados, observado limitações físicas.

7 - Desafios e Perspectivas Futuras

A implementação das redes 5G tem crescido na América Latina e Caribe, com um papel destacado para o Brasil, tanto em número de acesso, 35 milhões (Teleco, 2024), quanto em velocidade. Neste quesito, as três principais operadoras móveis brasileiras estão em situação de destaque no *ranking* de maiores velocidades 5G no mundo, com a Vivo na liderança, conforme indicado por (OpenSignal,2024).

Apesar desses avanços claros, as redes 5G tem sido mais uma evolução, do que a revolução imaginada por muitos no começo. A bem da verdade, esse primeiro estágio de maturidade das redes 5G já era esperado, pois atende ao primeiro vértice do tradicional triângulo com os casos de uso para as redes 5G, apresentado na Fig.8. Os demais vértices ainda estão evoluindo, com destaque às redes privadas que facilitam aplicações na automação industrial, no agronegócio e na logística, entre outros ambientes.

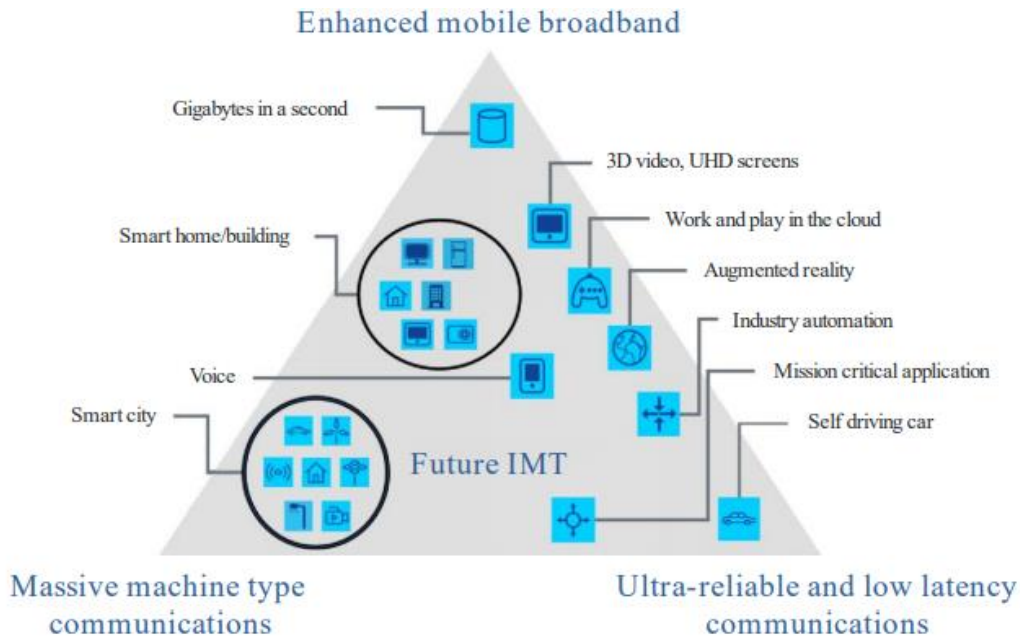


Fig.8 – Casos de Usos das Redes 5G.
Fonte: UIT (ITU-R Rec. M.2083)

A partir dessas ponderações, combinado com as discussões sobre a necessidade de monetizar as redes 5G, é possível prever a evolução das redes 5G em diferentes frentes: mercado B2B e ampliação da capacidade da rede (conforme acréscimo de usuários).

O mercado B2B, com soluções inovadoras e integradas (conectividade, dispositivos, aplicações e núcleo de rede), será essencial para impulsionar o ganho de eficiência em diversas cadeias produtivas, oferecendo reduções de custos e de desperdício, gerando novos modelos de negócios, consequentemente aumentando a competitividade dos participantes.

Já a ampliação da capacidade da rede, se dá pela implementação de mais estações, seja pelo adensamento em área já coberta ou pelo adensamento positivo⁷, e(ou) pela disponibilização de mais espectro de radiofrequências, e(ou) pelo uso de tecnologias mais eficientes (ex.: redes 5G ou 5G-Advanced - também conhecida como 5.5 G- em faixas outrora 2G ou 3G).

Como apresentado anteriormente, espera-se a ampliação da capacidade das redes 5G nos grandes centros com *small cells*, assim como o uso de novas faixas de radiofrequências, como a faixa de 6/7 GHz (6.425 – 7.125 MHz). As *small cells* serão

⁷ Expansão da infraestrutura em área ainda não coberta.



essenciais para a implantação da segunda camada⁸ da rede 5G, que utiliza tipicamente postes, fachadas de prédio ou outros elementos do mobiliário urbano. Espera-se que a faixa de 6/7 GHz também utilize a mesma infraestrutura existente em suas implementações iniciais, compartilhando a mesma infraestrutura das redes em 3,5 GHz (Linhares, 2024). Nesse aspecto, convém que do ponto de vista regulatório seja permitido o uso de potências maiores nos sistemas em 6/7 GHz, quando comparado ao 3,5 GHz, a fim de melhorar a experiência do usuário, e garantir o reuso da infraestrutura de 3,5 GHz, em cenários com distância entre sítios, p.ex., de 500 metros, como avaliado em (Nokia, 2024).

Um ponto muito importante é que não se espera que o 5G venha a fechar o tão falado *gap* digital. Na realidade, obrigações editalícias previstas na licitação de 2021 indicam que as faixas mais baixas, como o 700 MHz ou 2,3 GHz, implementando tecnologias 4G (ou superior), é a solução para ampliação da cobertura em áreas ainda não atendidas. Não obstante a indicação prevista no edital de que se poderia implementar tecnologias superiores ao 4G, deve-se observar o tipo de equipamento utilizado pela população, de tal forma que em locais com renda per capita mais baixa, convém facilitar o uso de telefones móveis de entrada, que atualmente são necessariamente compatíveis com redes 4G.

Nesse contexto de fechar o *gap* digital, as políticas públicas estabelecidas pelo Poder Executivo e executadas pelo órgão regulador têm sido essenciais para que operadoras móveis ampliem sua cobertura além do ponto de equilíbrio receita marginal x custo marginal. Os recursos adicionais necessários para a consecução desses objetivos podem vir, por exemplo, de regras de licitação, Termo de Ajustamento Conduta (TAC), Obrigações de Fazer (ODF), prorrogações de uso de radiofrequências, entre outras medidas, todas essas devendo ser devidamente precificadas.

Utilizando-se de conceitos de microeconomia, sem a definição de políticas públicas de telecomunicações, as operadoras móveis têm incentivo de investir em cobertura até o ponto em que a receita relacionada a adição de uma ERB a mais iguala ao custo pela adição daquela estação. Em outras palavras, o custo marginal iguala a receita marginal, conforme indicado na Fig.9. A adição de uma nova estação, tipicamente em locais com menor densidade populacional, com maior tempo de deslocamento para efetuar manutenção, condições tipicamente piores de suprimento de energia elétrica e segurança, podem desincentivar a ampliação da rede.

⁸ Ver conceito de rede multicamada na Seção 3.

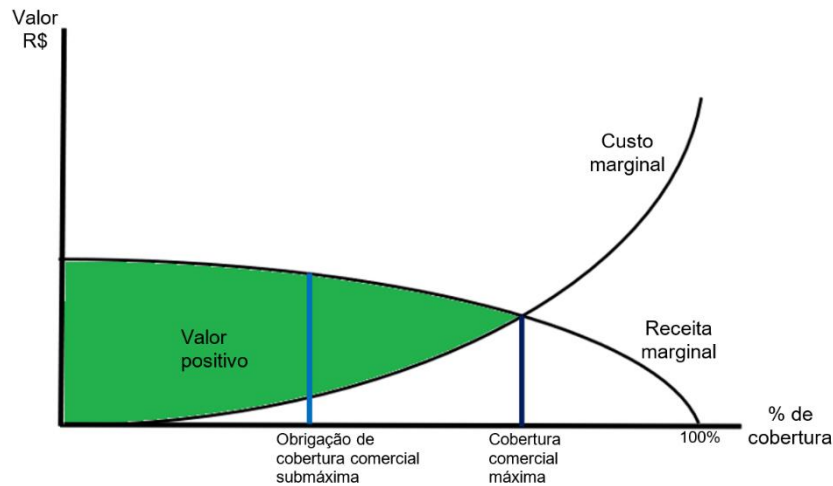


Fig.9 – Cobertura comercial máxima. O incentivo natural das operadoras móveis é investir em cobertura até o ponto em que receita marginal e custo marginal se igualam.
 Fonte: Adaptado de (Coleago, 2019).

A Fig.10 mostra a ampliação do atendimento além do ponto de cobertura comercial máxima, até um ponto de cobertura comercial competitiva viável. Além deste último ponto, começa-se a gerar uma situação tendendo ao monopólio natural, em que, no limite, a exploração comercial do serviço pode ser viável se existir somente uma operadora (podendo ser definidas políticas públicas ou regulamentação para facilitar o *roaming* nessas localidades).

Assim, espera-se que próximos editais de licitação de faixas de radiofrequências continuem a demandar a ampliação da cobertura de redes móveis em localidades e estradas desatendidas, conseqüentemente demandando a expansão da infraestrutura de telecomunicações.

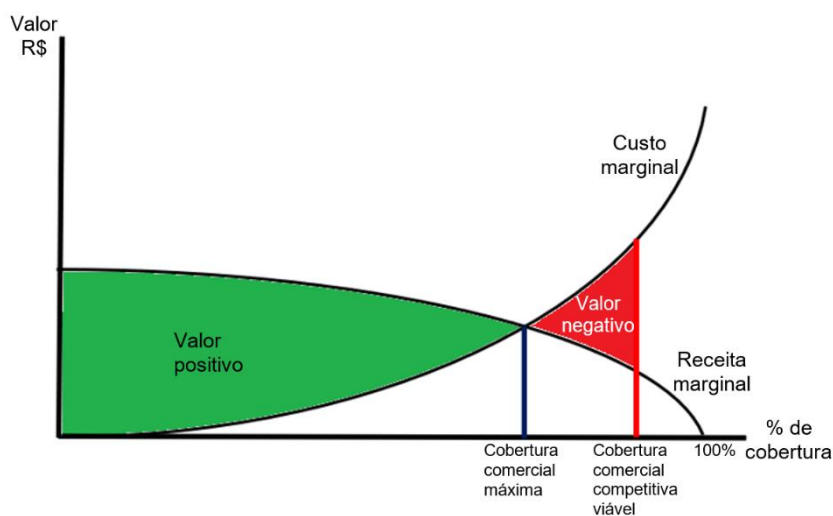


Fig.10 – Cobertura comercial competitiva viável. O atendimento de políticas públicas pode ampliar a cobertura além do ponto de equilíbrio entre receita marginal e custo marginal.
 Fonte: Adaptado de Coleago, 2019.



8 - Conclusão

A implantação do 5G no Brasil se deu predominantemente utilizando-se da infraestrutura passiva existente, pois 87,3% das estações 5G foram instaladas em sítios já existente (ou muito próximas a elas). Padrão similar foi observado na Europa.

As expectativas futuras para as redes 5G em nosso país incluem a busca pela monetização do 5G, sendo o atendimento ao mercado B2B uma das principais vertentes. Ademais, espera-se a ampliação de cobertura 5G em áreas mais viáveis economicamente ou em atendimento a obrigações editalícias ou outras políticas públicas. É de se esperar o uso de frequências mais baixas para cobrir áreas menos densas, com o compartilhamento de infraestrutura ativa e passiva. A cobertura dessas áreas menos atrativas economicamente, se não estiver vinculada com obrigações editalícias ou outras políticas públicas, deverá ocorrer com tecnologia 4G, pelo menos considerando como horizonte os próximos anos (ex. até 2028).

Nesse cenário de expansão de cobertura, o compartilhamento de infraestrutura será muito importante, pois permite que diferentes operadoras de telecomunicações prestem seu serviço a partir de um único conjunto de estrutura física, eliminando a necessidade de cada operadora construir implantar seus próprios sítios. Conseqüentemente, a necessidade de insumos básicos é menor (áreas, torres, energia), assim como o impacto visual é reduzido. O uso eficiente desses recursos reduz custos de capital (CAPEX), acelera a implantação de novos sistemas e está alinhado com a sustentabilidade.

Em relação ao possível aumento de exposição humana aos campos eletromagnéticos devido ao compartilhamento de torres, estudos teóricos e empíricos demonstram que a exposição devido às ERB's está muito abaixo do limite, tipicamente abaixo de 1%. Ademais, o apontamento dos feixes principais das antenas é normalmente o responsável preponderante pela exposição, e não o quantitativo de antenas em si. Dessa forma, convém que quaisquer discussões sobre exposição humana a campos eletromagnéticos detenham-se na garantia do atendimento aos limites estabelecidos em Lei, que, na prática, já ocorre com uma grande margem.

Por fim, vislumbra-se que as futuras redes 5G/5.5G/6G operando na faixa de 6/7 GHz também se utilize da infraestrutura existente para sua implantação inicial, recomendando-se que seja permitida sua operação com potências superiores às das redes em 3,5 GHz, para facilitar o uso dessas estruturas, melhorar a experiência dos usuários, e reduzir custos das operadoras.



Referências:

Coleago, 2019. “Increasing mobile broadband coverage through spectrum awards”.

Coleago Consulting. Disponível em

<https://www.coleago.com/app/uploads/2020/09/Maximising-coverage-through-spectrum-awards.pdf>

GSMA, 2019. “Infrastructure Sharing: An Overview”. Disponível em

https://www.gsma.com/solutions-and-impact/technologies/networks/gsma_resources/infrastructure-sharing-an-overview/

GSMA, 2024. “5G EMF Surveys”. <https://www.gsma.com/solutions-and-impact/connectivity-for-good/public-policy/regulatory-environment/emf-and-health/safety-of-5g-networks/5g-emf-surveys/>

Huawei, 2017. “Multi-Layer Networks: the Site Deployment Model of the MBB Era”.

Disponível em <https://carrier.huawei.com/en/solutions/maximizing-network-value/multi-layer-networks>

Linhares, 2022. A. Linhares, A. P. de Azevedo and L. C. Fernandes, "Radio-Frequency Electromagnetic Fields: Simultaneous exposure to infinite sources from typical base stations," in IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 64, no. 3, pp. 52-58, June 2022, doi: 10.1109/MAP.2021.3106829.

Linhares, 2024. A. Linhares, H. Silva and L. C. Fernandes, “Feasibility of the 6/7 GHz Frequency Band for 5G Urban Macrocells”. A ser publicado nos *Proceedings* do “The 9th IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile 2024”.

Mason, 2023. Analysys Mason Report: “*Land providers in the context of the European Commission’s planned Gigabit Infrastructure Act*”. Disponível em

<https://www.analysismason.com/contentassets/99cd26a91e5d41f1b606416e2bde96c6/analysys-mason-final-report-to-apwireless-121023.pdf>

Mason, 2024. *Analysys Mason Report: “Ambitious ESG targets for digital infrastructure are achievable with the right tools”*. Disponível em

<https://www.analysismason.com/featured-topic/sustainability-and-esg/esg-digital-infrastructure/>

OpenSignal, 2024. “5G Global Mobile Network Experience Awards 2024 – October 2024”. Disponível em

<https://www.opensignal.com/2024/10/5g-global-mobile-network-experience-awards-2024>

ITU-T, 2018. “K.Sup4 : ITU-T K.91 - Electromagnetic field considerations in smart sustainable cities”. Disponível em

<https://www.itu.int/rec/T-REC-K.Sup4-201809-I/en>

ITU-T, 2020. *Recommendation ITU-T D.264: “Shared uses of telecommunication infrastructure as possible methods for enhancing the efficiency of telecommunications”*.

Disponível em <https://www.itu.int/rec/T-REC-D.264-202004-I>.

Teleco, 2024. https://www.teleco.com.br/5g_brasil.asp