

# TECNOLOGIA 5G

---

## TEMA 1 – CONTEXTUALIZAÇÃO

A interconexão de equipamentos e a troca de informações estão presentes no cotidiano de todos, mesmo que esses termos não sejam notados ou percebidos, pois a comunicação é um dos requisitos fundamentais dos seres humanos, que, associada ao seu desenvolvimento (humano), evolui ao longo da história.

Segundo Li, Wang e Zhang, 2021, p. 31, em tradução livre,

A comunicação é o requisito básico do ser humano, e há uma longa história da comunicação humana. Por milhares de anos, as pessoas têm usado línguas, símbolos, sinos e tambores, fogos de artifício, tiras de bambu, livros de papel e outras formas de transmissão de informação, e todas essas mudanças nos métodos de comunicação afetam profundamente vida humana. Com o surgimento dos sinais elétricos, a tecnologia de comunicação trouxe significativas mudanças para a sociedade humana. Em certo sentido, sinais elétricos substituíram voar e correr, como um meio de transmissão de informações, que significa o fim dos métodos de comunicação antigos, e abriu um novo capítulo em métodos modernos de comunicação, especialmente os marcos constantemente emergentes em o campo das comunicações móveis também impulsionou a tecnologia de comunicação para um nível superior. Portanto, é necessário revisar o histórico de desenvolvimento de dispositivos móveis comunicação.

Dispositivos são desenvolvidos e adquiridos para esse fim, dos *smartphones* aos brinquedos, em uma constante busca por ferramentas que auxiliem as pessoas. Nas ruas, nos lares, nas empresas, nas escolas, nos mais inusitados lugares, o tempo todo dados e informações trafegam e recursos são compartilhados em tempo real (Guerra, 2020)

Desde a descoberta dos sinais elétricos e do lançamento dos primeiros computadores digitais, em meados de 1945, com a máquina de Von Neumann, os esforços foram concentrados na troca de informações, na interconexão de equipamentos, que no início eram realizados por meios arcaicos, podendo ser necessários vários dias para que uma informação chegasse ao seu destino.

Como citamos na obra *Redes em fio* (Guerra, 2020), mesmo antes dos computadores pessoais, equipamentos já eram interligados e recursos compartilhados. Um telefone sozinho é um equipamento inútil, mas conectado à rede de telefonia pode comunicar-se com milhões de outros telefones. Mesmo que um computador não seja inútil sozinho, quando conectado à(s) rede(s), seu valor torna-se inestimável.

Um computador sozinho é um verdadeiro desperdício, tendo em vista que grande parte destes são adquiridos com o propósito de conectar-se à internet, e

---

assim a milhões de servidores e de outros computadores espalhados pelo mundo inteiro.

Os conteúdos previstos estão organizados e contemplam inicialmente uma introdução e a visão geral (fundamentos) da tecnologia de telecomunicação móvel sem fio 5G, como o foco em como a transformação digital impacta a sociedade do conhecimento: o histórico, a evolução e a contextualização das tecnologias de telecomunicação móvel – *mobile telecommunications*, e o impacto na transformação digital da sociedade, dos negócios e do governo.

Nesta aula, daremos uma visão geral (fundamentos, definições preliminares, tipos e características) da tecnologia de comunicação *wireless* 5G.

Ao longo de nossos estudos, veremos também os seguintes tópicos:

- histórico, evolução e contextualização das tecnologias de telecomunicação móvel;
- principais características e a padronização da tecnologia 5G;
- cenários de uso, especificações, velocidade, latência, padrões de comunicação;
- requisitos de quinta geração (5G), noções básicas do novo rádio 5G (NR), noções básicas da rede principal 5G de última geração; e
- segurança e os desafios – o futuro das tecnologias de telecomunicação móvel 5G.

Esses conteúdos serão ministrados em nossos estudos e, em cada etapa, os temas serão individualmente descritos/apresentados.

O roteiro desta aula inicial – Visão geral da tecnologia de comunicação *wireless* 5G – apresenta essa contextualização, seguida das definições preliminares (fundamentos) das tecnologias de telecomunicação móvel 5G. Na sequência, são apresentados os meios de comunicação e as características de comunicação, e ao final, os conceitos de telefonia celular (*mobile*).

## **TEMA 2 – DEFINIÇÕES PRELIMINARES (FUNDAMENTOS) DAS TECNOLOGIAS DE TELECOMUNICAÇÃO MÓVEL 5G**

A telefonia móvel (*mobile*) representa uma das maiores inovações do século XX e, seguramente, a evolução dessa tecnologia mudou a forma como as comunicações ocorrem em todo o mundo, impulsionando a transformação digital

---

e, conseqüentemente, influenciando de todas as formas o comportamento das organizações e das pessoas.

Os meios de comunicação são responsáveis e têm participação efetiva em diversas transformações ao longo da evolução da humanidade, diminuindo cada vez mais as distâncias entre as nações e promovendo um aceleração na disseminação de dados, informações e conhecimento.

A tecnologia de comunicação *wireless* (sem fio) mudou drasticamente a nossa sociedade e a maneira como nos comunicamos.

Os dispositivos móveis evoluíram de uma tecnologia incorporada por um sistema de voz analógico para uma comunicação baseada em aplicativos, serviços e dados, de modo que o ecossistema de comunicação móvel atende a essa nova demanda atual.

Conceito elementar nos sistemas de telecomunicação móvel, as ondas eletromagnéticas são as responsáveis pela conectividade dos dispositivos sem a utilização de fios. Como ilustra o título do próximo tema, o questionamento é inevitável.

## 2.1 O que são ondas?

Para Helerbrock [S.d.], ondas são pulsos energéticos que se propagam no espaço transportando energia.

Elas podem ser de dois tipos.

- **Ondas mecânicas** – quando precisam de um meio material para se propagar.
- **Ondas eletromagnéticas** – podem se propagar no vácuo (ex.: as ondas de rádio, de TV, celulares, internet, ultrassons, micro-ondas, raios x).

As ondas eletromagnéticas foram descritas matematicamente pelo físico escocês James Clerk Maxwell no século XIX. Ele se baseou nas equações dos cientistas Coulomb, Ampere, Gauss e Faraday, dando a elas uma nova visão e formando um conjunto de quatro equações que demonstram a interação entre o campo elétrico e campo magnético e suas relações com a voltagem e a corrente elétrica.

Essas equações passaram a ser conhecidas como *equações de Maxwell* e são a base do eletromagnetismo. Maxwell também provou que a luz é uma onda

eletromagnética e que todas as ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo com a mesma velocidade que a luz visível, a *velocidade da luz*:

$$c = 2,99792458 \times 10^8 \text{ m/s} = 299.792.458 \text{ m/s} \approx 300.000.000 \text{ m/s}$$

Ele concluiu que a própria luz poderia ser uma forma de radiação eletromagnética, teoria confirmada por Heinrich Hertz, em 1888.

O resultado dos trabalhos de Maxwell é a fórmula para o cálculo da velocidade da onda eletromagnética ( $c$ ):

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

onde  $v$  representa o vácuo, que é um meio linear, homogêneo e isotrópico, e as *constantes elétricas* são designadas por:

$\mu_0$  – *permeabilidade magnética* do vácuo, também conhecida como *constante magnética*, uma constante da física simbolizada por  $\mu_0$  e o valor definido como:

$$N/A^2 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}, \approx 1,2566 \times 10^{-6} \text{ H/m (ou T} \cdot \text{m/A)};$$

N = Newton (unidade);

A = Ampére;

H = Henry (unidade);

M = metro; e

T = Tesla.

$\epsilon_0$  - *Constante de permissividade* do vácuo, há muito tempo chamada de *constante de permissividade do éter*, que é uma constante que permite medir a permissividade elétrica da substância que, segundo Maxwell, permeava todo o universo, chamada de éter.

Segundo Maxwell, o éter era uma substância sólida elástica, na qual havia um mar de minúsculos vórtices líquidos. Na quarta de suas famosas equações, aparecia a constante dielétrica, que é inversamente proporcional à permissividade, que media a elasticidade desse sólido.

### TEMA 3 – MEIOS DE COMUNICAÇÃO

Existem muitos diferentes meios de comunicação atualmente, e eles mudaram muito ao longo dos anos, com modificações, adaptações e

---

transformações – todos com o intuito de atender às atuais demandas da humanidade, diminuindo cada vez mais as distâncias, o tempo e o espaço das comunicações.

### **3.1 Meios de comunicação – *antigos***

Os primeiros (*antigos*) meios de comunicação simbolizaram a transição de gerações, como descrito por Sousa (2021):

#### **3.1.1 Escrita**

Utilização de códigos e sinais para transmitir informações entre nós, os seres humanos.

#### **3.1.2 Telégrafo**

Permite a comunicação por meio de códigos (código Morse), baseados no sistema de pontos e traços. Criado na década de 1830, por Samuel Morse, nos Estados Unidos. No Brasil, chegou em 1847.

#### **3.1.3 Correio**

Normalmente associado ao telégrafo, é um dos mais antigos meios de comunicação, o sistema de envio de cartas, documentos e encomendas entre remetente e destinatário, podendo ser privado ou público.

#### **3.1.4 Jornal**

Comunicação impressa. O 1º jornal foi produzido em Roma. Era escrito em grandes placas brancas colocadas em locais públicos.

#### **3.1.5 Rádio**

Possibilita a comunicação em massa, propagando informações codificadas por meio de sinal eletromagnético. Iniciou em 1860, em seguida da descoberta das ondas eletromagnéticas descritas no capítulo anterior.

---

### 3.1.6 Telefone

Possibilita a transmissão de informação por meio da voz e de sinais sonoros. Denominado inicialmente como *telégrafo falante*, foi inventado por Antonio Meucci. No Brasil, as primeiras linhas eletrônicas foram instaladas no Rio de Janeiro.

### 3.1.7 Televisão

Meio de comunicação eletrônico capaz de reproduzir imagens e áudios de forma instantânea, convertendo luz e som em ondas eletromagnéticas (século XIX).

## 3.2 Meios de comunicação – atuais

Contudo, esses meios de comunicação já estão ultrapassados, em desuso, e tiveram que se adaptar às demandas na sociedade digital, com os modernos (*atuais*) meios de comunicação, que simbolizam a transição das gerações atuais, com destaque para os seguintes:

### 3.2.1 Celular

Meio de comunicação móvel que faz a transmissão de voz e de dados por meio de ondas eletromagnéticas. Foi inventado em 1947 pela empresa de tecnologia Bell, nos Estados Unidos. Em 1956, a Ericsson reuniu diversas tecnologias e desenvolveu o celular chamado Ericsson MTA (*Mobilie Telephony A*).

### 3.2.2 Computador

Máquina capaz de armazenar e processar dados. Com a invenção da internet, tornou-se um meio de comunicação.

### 3.2.3 Internet

Rede que liga mundialmente milhões de computadores. É um dos meios de comunicação mais poderosos já desenvolvidos pelo homem, revolucionando a sociedade e a comunicação (Sousa, 2021).

---

Portanto, conhecer os meios de comunicação é elementar ao entendimento das telecomunicações 5G.

## **TEMA 4 – CARACTERÍSTICAS DA TECNOLOGIA DE COMUNICAÇÃO WIRELESS**

Kurose (2014, citado por Guerra, 2020) resume as características por meio da apresentação das diferenças para a conexão utilizando cabos:

### **4.1 Redução fora do sinal**

O sinal de rádio se atenua enquanto se propaga pela matéria (perda do caminho).

### **4.2 Interferência de outras fontes**

As frequências padrão de rede sem fio (ex.: 2,4 GHz) são compartilhadas por outros dispositivos (ex.: telefone).

### **4.3 Propagação multipercurso**

O sinal de rádio reflete em objetos e no solo, chegando ao destino em momentos ligeiramente diferentes.

Essas diferenças tornam a comunicação sem fio muito mais difícil.

A utilização de múltiplos remetentes e receptores sem fio cria problemas adicionais (além do acesso múltiplo) a seguir descritos:

Sendo A, B e C dispositivos que utilizam redes sem fio para comunicar-se, o cenário a seguir descreve os problemas

### **4.4 Problema do terminal oculto**

- B, A estão conectados;
- B, C estão conectados; e
- A, C estão desconectados.

Isso significa que A e C não sabem de sua interferência em B.

### **4.5 Atenuação do sinal (*fading*)**

- B, A estão conectados;



- B, C estão conectados; e
- A, C estão desconectados.

Isto significa que A e C não podem se conectar, interferindo em B.

O mesmo autor apresenta, na edição seguinte de sua obra (Kurose; Ross, 2017), as características, agora diferenciando-as entre vantagens e desvantagens, a seguir apresentadas utilizando a tradução livre.

#### 4.6 Vantagens das redes sem fio

As *vantagens* das redes sem fio descritas são as seguintes:

- muito flexíveis dentro da área de atuação;
- existe a possibilidade de redes *ad-hoc* sem planejamento (expansão);
- (quase) sem dificuldades em relação a redes cabeadas (ex.: edifícios históricos, paredes antichama); e
- maior robustez (confiável) contra desastres (acidentes), por exemplo, vendaval, tempestades, incêndios ou mesmo usuários desastrados (que desplugam os cabos).

#### 4.6 Desvantagens das redes sem fio

Já as *desvantagens* são as seguintes:

- geralmente a largura de banda (velocidade de conexão) é mais baixa que as redes cabeadas (1-450 Mbit/s) devido ao compartilhamento da frequência;
- muitas das soluções possuem patentes proprietárias, especialmente para velocidades (taxas de transmissão de *bits*) mais altas, os padrões demoram algum tempo para tornar-se “livres” (ex.: IEEE 802.11n); e
- os produtos têm que seguir muitas restrições (leis) nacionais, como a utilização de determinadas frequências permitidas dentro de um país (ex.: polícia, controle de tráfego aéreo etc.).

As características físicas do canal de comunicação sem fio são descritas por Kostin (2008).

As várias características do canal de comunicação sem fio levam muitas vezes a restrições devido a interferências ou ruídos.

---

Isso torna mais problemático o estabelecimento da conexão entre as unidades de um sistema de comunicação sem fio, diferentemente de um sistema fixo, em que as conexões são todas feitas através de cabos ou fibras ópticas.

As propriedades das ondas de rádio são bastante dependentes da frequência.

Usando baixas frequências, ondas de rádio podem passar através de obstáculos, enquanto que para frequências mais altas o sinal está mais susceptível à absorção e a reflexão.

Diferentes atrasos na recepção podem ser causados pela propagação por múltiplos percursos (*multipath propagation*).

Esses múltiplos percursos são formados pela reflexão, difração ou espalhamento do sinal transmitido em estruturas próximas ao receptor, tais como edifícios, árvores, postes, morros etc.

A soma dos vários sinais dos múltiplos percursos pode resultar em uma interferência construtiva ou destrutiva do sinal recebido.

O espalhamento temporal dos atrasos devido à propagação por múltiplos percursos caracteriza o *Delay Spread*.

Sempre que existe espalhamento temporal, pode haver a alteração de amplitude das várias componentes do espectro de frequências do sinal transmitido.

Essa alteração pode ocorrer de maneira uniforme em toda a faixa de frequências do sinal – configurando o desvanecimento do plano – ou poderá afetar somente determinada faixa de frequências – configurando o desvanecimento seletivo.

O movimento relativo entre fonte e receptor ocasiona o efeito *Doppler*, que corresponde à percepção de uma frequência diferente da que está sendo transmitido por uma determinada fonte.

Quando grandes obstáculos, como edifícios, morros e similares se situam entre transmissor e receptor, surge o efeito denominado *sombreamento* (*shadowing*), efeito esse que pode provocar consideráveis quedas na amplitude da potência recebida e interromper momentaneamente a comunicação.

Decorrente de todas essas restrições físicas apresentadas anteriormente, o ambiente de comunicação sem fio apresenta características diferentes em relação a um sistema fixo, como:

- menor largura de banda;

- frequentes desconexões (voluntária e involuntária); e
- taxa de erro do canal variável e dependente da localização.

A necessidade de comunicação das pessoas desde que os aparelhos celulares começaram a aparecer no mercado aumentou exponencialmente, não só em termos de telefonia, mas por troca de dados pela internet. Esse consumismo obriga o setor de telecomunicações a fornecer toda a estrutura necessária para dar suporte às enormes quantidades de *bits* que trafegam diariamente pelas redes.

Fornecer uma estrutura que suporte os bilhões de dispositivos que estarão conectados à Internet nos próximos anos e superar os inúmeros problemas de infraestrutura é uma tarefa árdua para todo o setor de telecomunicações. Como a faixa do espectro eletromagnético é bem limitada, algumas políticas públicas e dificuldades de investimentos também trazem grandes dificuldades ao setor.

O avanço da telefonia móvel é explicado pela necessidade de comunicação universal em todas as áreas, entre pessoas físicas, entre empresas e consumidores, de simples aplicativos até processos complexos gerenciados na Internet. Essa dependência faz com que o setor de telecomunicações evolua e crie maneiras de suportar o grande volume de dados trafegados diariamente nas redes.

Devido aos grandes desafios da área, à busca por soluções para problemas como a falta de espaço no espectro eletromagnético ou a ter que aumentar significativamente a velocidade nas transmissões, as redes 5G serão necessárias e até fundamentais para suportar toda essa evolução tecnológica que estamos vivenciando.

## **TEMA 5 – CONCEITOS DE TELEFONIA CELULAR (MOBILE)**

Existem alguns importantes conceitos para o entendimento dos sistemas de telecomunicação móvel-celular, entre os quais se destacam:

### **5.1 Banda**

É o intervalo entre duas frequências e cuja largura é definida pela diferença entre a maior e a menor frequência.

---

## 5.2 Modulação

É responsável pela alteração do sinal eletromagnético gerado, antes de sofrer a propagação. Os dados são transportados através de uma onda portadora que tem como característica a sua frequência, amplitude e fase. Os dados são recuperados por meio da demodulação.

## 5.3 Espaço de portadora

É uma espécie de sinal analógico em forma de uma onda senoidal que será modulado, refletindo os dados que estão sendo transmitidos.

## 5.4 Canal

Este é o meio de transporte que é utilizado para que a mensagem emitida chegue até o receptor.

## 5.5 Base receptora

A *base transceiver station* (BTS) é a estação transceptora de base é um conjunto de antenas e transceptores presentes em cada célula.

## 5.6 Célula

É a área comportada por cada BTS, limitada conforme as capacidades físicas da BTS. A área que abrange um conjunto de célula é chamada de *cluster*.

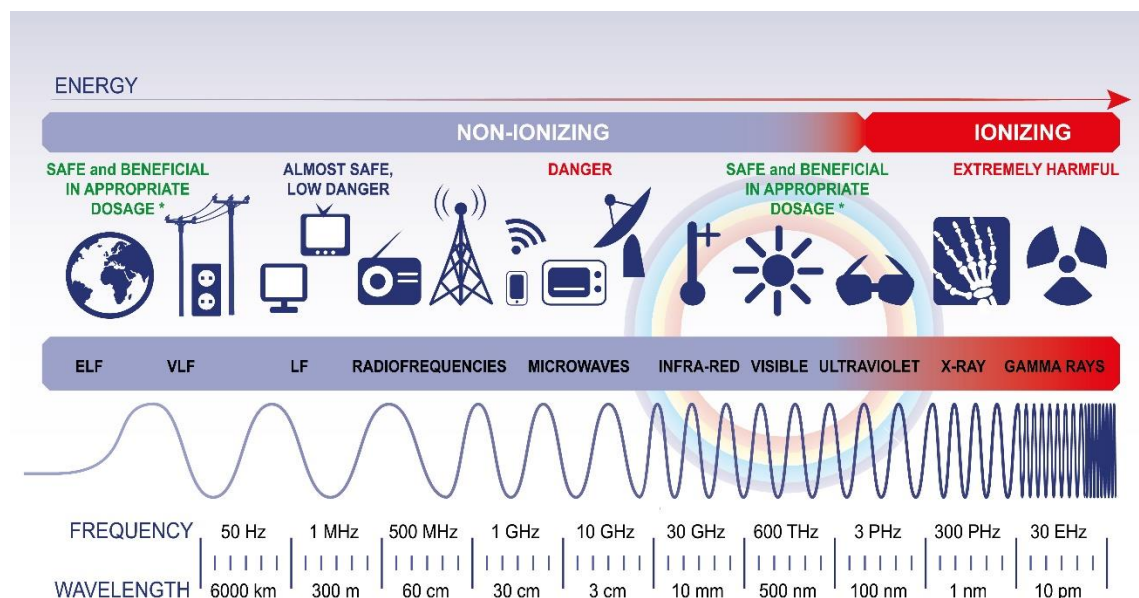
## 5.7 Enlace

Quando os dados são modulados e gerados em um ponto e depois são transmitidos e recebidos em outro ponto, temos a comunicação entre a estação móvel, *mobile station* (MS) e a BTS. Cada portadora possui sua frequência definida, e o transmissor tem que modular todos esses dados nessa frequência. Entretanto, os dados podem estar contidos em uma frequência principal, como também em frequências maiores ou menores e, devido a essas variações, o canal possui uma largura de frequências, a largura do canal. Portanto, pode-se dizer que o enlace faz a conexão entre a estação transceptora de base e a estação

móvel. Quando os dados trafegam da BTS para a MS, chama-se enlace direto e de enlace reverso, se os dados partem da MS para a BTS.

A imagem adaptada ilustra a tabela de frequências e exemplos de utilização.

Figura 1 – Tabela de frequências e exemplos de utilização



Fonte: Polina Kudelkina/Shutterstock.

### Saiba mais

No vídeo *Cisco – IoT 5G Story*, publicado pela empresa Cisco no início da enfermidade infecciosa causada pelo vírus SARS-CoV2 (novo coronavírus), responsável pela pandemia de COVID-19, está descrito na animação o modelo de telecomunicações móveis de 5ª geração. Confiram acessando o *link* a seguir:

CISCO IoT 5G Story. **Cisco**, 16 mar. 2020. Disponível em: <<https://video.cisco.com/video/6142103430001>>. Acesso em: 3 fev. 2022.

### Saiba mais

Na entrevista concedida ao *Expresso CNN*, o presidente da Anatel, Leonardo Euler, revela que as aplicações do 5G permitem revolucionar diversas áreas. No vídeo também são descritas diversas características complementares aos conceitos iniciais aqui descritos. Acesse o *link* a seguir para assistir:

---

APLICAÇÕES do 5G permitem revolucionar diversas áreas, diz presidente da Anatel – Expresso CNN. **CNN Brasil**, 4 nov. 2021. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=bE1bCHDG8ng>>. Acesso em: 3 fev. 2022.

## REFERÊNCIAS

GUERRA, A. R. **Redes sem fio**. Curitiba: Contentus, 2020.

HELERBROCK, R. Ondas eletromagnéticas. **Brasil Escola**, S.d. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/o-que-sao-ondas-eletromagneticas.htm>>. Acesso em: 3 fev. 2022.

KOSTIN, S. **Uma abordagem para controle de topologia de redes de sensores sem fio para ambientes com obstáculos**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2008.

KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. **Redes de computadores e a internet**. 6. ed. Boston, MA: Addison Wesley, 2014.

\_\_\_\_\_. **Computer networking: a top-down approach**. 7. ed. New York: Pearson, 2017.

LI, Z.; WANG, X.; ZHANG, T. 5G+ How 5G **Change the Society**. Singapore: Springer, 2021.

SOUSA, R. Meios de comunicação: para que servem, tipos e evolução. **Mundo Educação**, S.d. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/meios-comunicacao.htm>>. Acesso em: 2 fev. 2022