



1



TE346

**Engenharia Elétrica e Sociedade**

*Prof. Ewaldo Luiz M. Mehl*



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ



**DELT**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**Do telégrafo ao  
smartphone  
[Evolução das  
Telecomunicações]**

The complex block contains a photograph of communication towers with satellite dishes against a sunset sky. Below the photo is the course code 'TE346'. The main title 'Engenharia Elétrica e Sociedade' and the professor's name 'Prof. Ewaldo Luiz M. Mehl' are centered below the code. On the right side, there is a vertical stack of logos: the UFPR logo, the DELT logo (a gear with a lightning bolt), and the text 'Do telégrafo ao smartphone [Evolução das Telecomunicações]'.

2

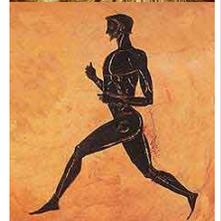
## Do Telégrafo ao *Smartphone*

- Comunicações na Antiguidade
- Definição de Telecomunicações
- As torres de Chappe (A arma secreta de Napoleão)
- Indução eletromagnética:  
[*But what is the use of it, Professor Faraday?*]
- O telefone [*Mr. Watson, Come Here. I need you!*]
- Marconi [Endereço: Via dela Lungara]
- O acidente do HMS Titanic e as Telecomunicações  
[CQD CQD SOS SOS Lat 41.46N Lon 50.14W]
- *Broadcast* [Música, notícias, propagandas]
- Telefones móveis [0G – 1G – 2G – 3G – 4G – 5G]

3

## Comunicação *muscular* Homens, Cavalos...

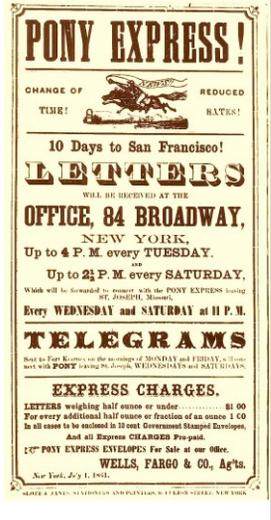
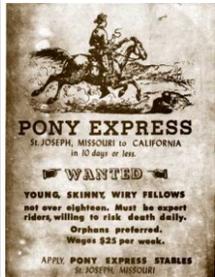
- Imperador Persa **Ciro, o Grande** (558-528 BC):  
Rota de 2500 km (Caravanas: 90 a 100 dias – Mensageiros: 8 a 10 dias)
- 490 BC: **Pheidippides** (Φειδιππίδης) “filho de Pheidippos” ou **Philippides** (Φιλιππίδης) — relato de que havia corrido de Maratona até Atenas para levar a notícia da vitória de Atenas sobre os Persas (42 km)
- 225 BC: Papiro de Hibeh (Egito): descreve o serviço de mensageiros do Faraó
- 200 BC: Histórias de Políbio: Grécia – Sistema de tochas de fogo
- 14 AD: Império Romano – rede de mensageiros – 200 km/dia (a cavalo)
- 1280 AD: **Kublai Khan** - Rede com aprox. 1400 postos de correio [YAM] (envolvia 50 mil cavalos, 1400 bois, 6700 mulas, 6 mil barcos)



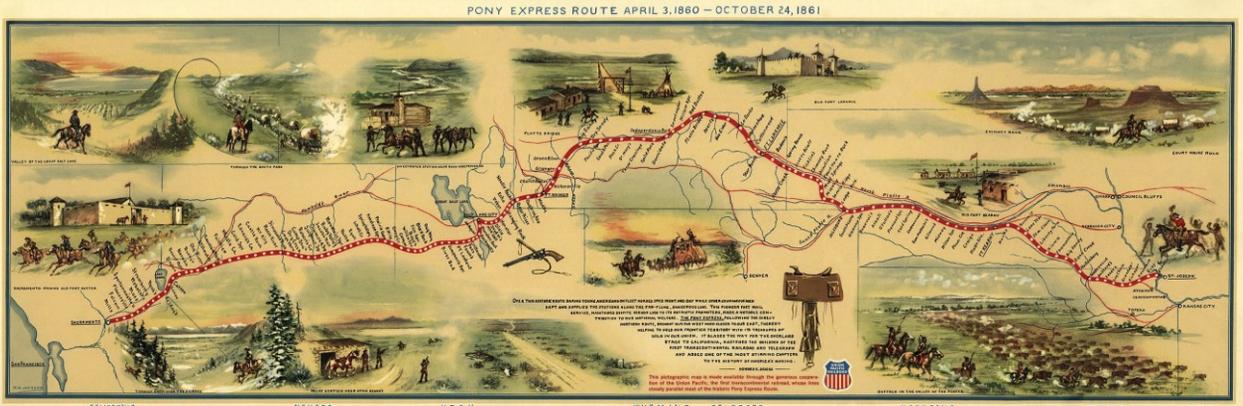
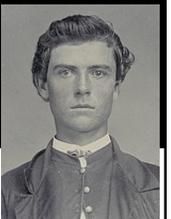
4

# Comunicação muscular Homens, Cavalos...

- 1860-1861 EUA: **Pony Express** (St. Joseph, Missouri – Sacramento, California) – Cartas e telegramas de Nova York até San Francisco em 10 dias
- 186 postos de troca de cavalos
- cavalos: 1,47 m de altura  
cavaleiros: max 125 lb (57 kg) + 20 lb carga + 20 lb (comida, água, um revólver, uma Bíblia).
- Desativado em 24 de outubro de 1861, dois dias após a inauguração do telégrafo

## Pony Express (1860-1861)



# Definição de Telecomunicações

A palavra **telecomunicação**, [tele<sup>GREGO</sup> = distante + communicare<sup>LATIM</sup> = compartilhar], foi criada por Édouard ESTAUNIÉ (1862–1942) em **1904**, no seu livro *Traité pratique de télécommunication électrique (télégraphie-téléphonie)*.

Em seu livro, E. Estaunié define telecomunicação como **“la transmission à distance de la pensée par l’électricité”**. Portanto, nesta definição inicial, telecomunicações está limitada a *sinais elétricos*, sendo que atualmente utilizam-se também **sinais óticos** (nas fibras óticas) em diversas redes de telecomunicações.

As telecomunicações eliminaram a relação mestre-servo: **substitui o serviço do mensageiro pelo telégrafo mecânico (1794), pelos fios de cobre (1837), pelas ondas eletromagnéticas (1896) e por pulsos de luz [fibras óticas] (1973)**.

[http://www.coit.es/foro/pub/ficheros/sobre\\_la\\_etimologia\\_de\\_telecomunicacion\\_92ef2faa.pdf](http://www.coit.es/foro/pub/ficheros/sobre_la_etimologia_de_telecomunicacion_92ef2faa.pdf)

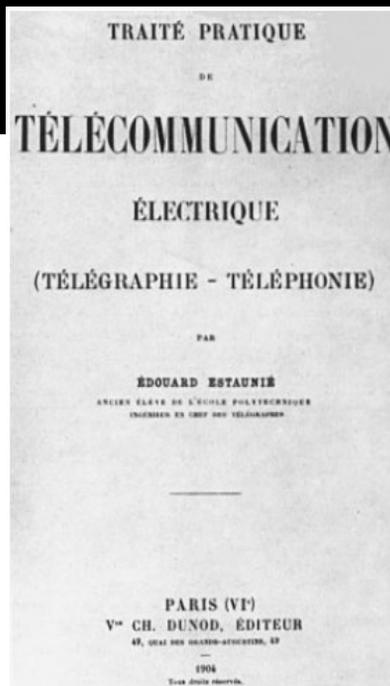
7

## Édouard ESTAUNIÉ



*J’ai dû ajouter un mot nouveau à un glossaire déjà trop riche au gré de nombreux électriciens. J’espère qu’on voudra bien me le pardonner. Les mots naissent dans les sciences neuves, comme les plantes au printemps. Il faudra s’y résigner, et il n’y a que demi-mal, puisque l’été qui doit suivre se chargera d’élaguer les mauvaises pousses.*

ESTAUNIÉ, Édouard. *Traité pratique de télécommunication électrique (télégraphie-téléphonie)*. Paris : Dunod, 1904. - XX - 670 p. Illustrations 24 cm  
<https://ethw.org/w/images/8/8c/Dihac-2004.pdf>



8

# Definição de Telecomunicações (ITU)

A International Telecommunication Union (ITU) definiu **telecomunicações em 1932 como:**

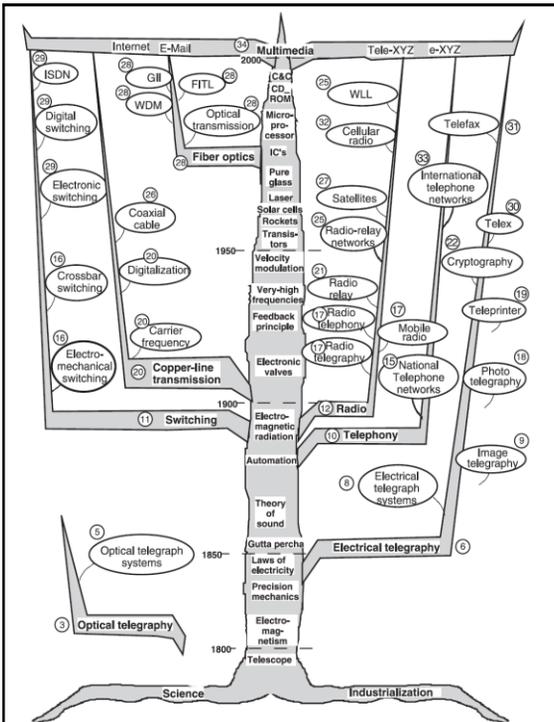
“any telegraph or telephone communication of signs, signals, writings, images and sound of any nature, **by wire, radio, or other system or processes of electric or visual** (semaphore) signaling.”

MADRID, 1932, XIII Conferencia Telegráfica Internacional + III Conferencia Radiotelegráfica Internacional

**A definição atual da ITU é:**

“any transmission, emission, or reception of signs, signals, writings, images, and sounds; or intelligence of any nature **by wire, radio, visual, or other electromagnetic systems.**”

qualquer transmissão, emissão ou recepção de símbolos, sinais, texto, imagens e sons ou inteligência de qualquer natureza através de fio, de rádio, de meios ópticos ou de qualquer outro sistema eletromagnético



## A "árvore das Telecomunicações"

O **tronco** representa os pré-requisitos tecnológicos para o desenvolvimento das diversas áreas de telecomunicações, gerando as **ramificações** da árvore.

As **folhas** presas aos ramos representam os vários produtos gerados pela evolução tecnológica.

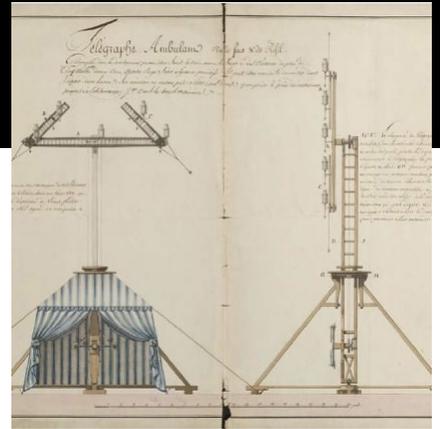
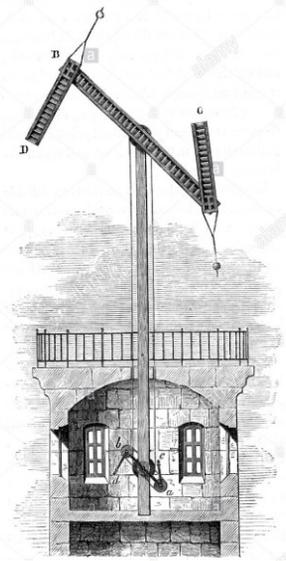
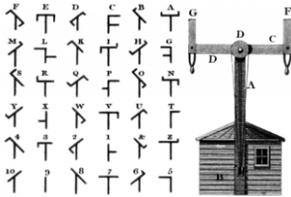
Nas **raízes** temos as bases das telecomunicações, que são a **CIÊNCIA** e a **INDUSTRIALIZAÇÃO**.

*Irfan Latif Khan*  
COMSATS Institute of Information Technology  
Electrical Engineering Department  
Islamabad, Pakistan

# Telégrafo de Chappe

## (ou: Semáforo de Chappe)

- Fundamento: O *Telescópio*
- 1792: Claude Chappe envio de uma mensagem entre Paris e Lille (220 km)
- Adotado pelo exército de Napoleão
- Usado até 1852 na França
- Adotado com diferentes variações em diversos países europeus

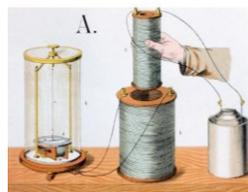
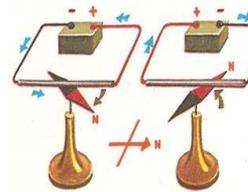
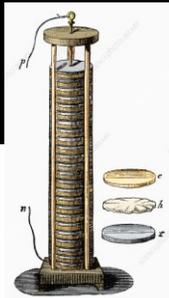


11

# Telégrafo elétrico

**Fundamentos: final 1700 início 1800**

- 1800: Alessandro Volta: A pilha de Volta  
Fornecia uma fonte estável de corrente elétrica
- 1820: Hans Christian Ørsted  
Relação entre eletricidade e magnetismo
- 1831: Michael Faraday (*Royal Institution, London*):  
Indução eletromagnética  
*Lady: But what is the use of it, Prof. Faraday?*  
*Faraday: Ah, but what use is a new-born child?*

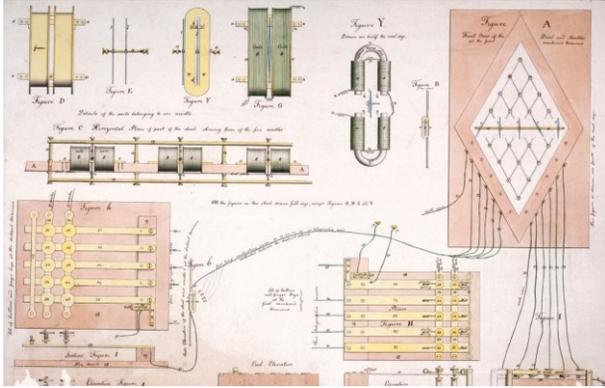


12

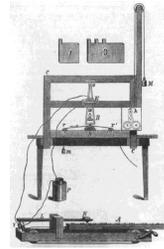
## 1837 - William Fothergill Cooke & Charles Wheatstone

## 1838 – Samuel Morse & Alfred Vail & Joseph Henry

- 1838: Telégrafo de 5 agulhas – requeria 6 fios (21km) Paddington – West Drayton



- 1838: patente nos EUA do Telégrafo Eletromagnético (originalmente destinado a imprimir pontos e traços em uma fita de papel)
- 1838: Morse viaja para Londres e descobre que já existe a patente do telégrafo de Cooke & Wheatstone
- 1842: Demonstração no Congresso em Washington
- 1844: primeira linha telegráfica nos EUA entre Washington e Baltimore (61km) usando o Código Morse
- 1845: extensão da linha de telégrafo para Philadelphia, NYC e Boston
- 1851: O telégrafo Morse passa a ser adotado em toda a Europa (exceto UK)



## Código Morse



Friedrich Clemens Gerke – 1801 – 1888

1848: Proposta de mudanças no Código Morse

- Um "traço" dura três "pontos"
- Mudança de alguns códigos que eram fonte de erros
- Base do código de 1885 na reunião da International Telegraph Union em Paris

	American (Morse)	Continental (Gerke)	International (ITU)
A	· · ·	· · ·	· · ·
B	· · ·	· · ·	· · ·
C	· · ·	· · ·	· · ·
D	· · ·	· · ·	· · ·
E	· · ·	· · ·	· · ·
F	· · ·	· · ·	· · ·
G	· · ·	· · ·	· · ·
H	· · ·	· · ·	· · ·
I	· · ·	· · ·	· · ·
J	· · ·	· · ·	· · ·
K	· · ·	· · ·	· · ·
L	· · ·	· · ·	· · ·
M	· · ·	· · ·	· · ·
N	· · ·	· · ·	· · ·
O	· · ·	· · ·	· · ·
P	· · ·	· · ·	· · ·
Q	· · ·	· · ·	· · ·
R	· · ·	· · ·	· · ·
S	· · ·	· · ·	· · ·
T	· · ·	· · ·	· · ·
U	· · ·	· · ·	· · ·
V	· · ·	· · ·	· · ·
W	· · ·	· · ·	· · ·
X	· · ·	· · ·	· · ·
Y	· · ·	· · ·	· · ·
Z	· · ·	· · ·	· · ·
1	· · ·	· · ·	· · ·
2	· · ·	· · ·	· · ·
3	· · ·	· · ·	· · ·
4	· · ·	· · ·	· · ·
5	· · ·	· · ·	· · ·
6	· · ·	· · ·	· · ·
7	· · ·	· · ·	· · ·
8	· · ·	· · ·	· · ·
9	· · ·	· · ·	· · ·
0	· · ·	· · ·	· · ·

*Example 7.*

*Type Rule.*

*Example 8.*

*Fig. 1. Straight Port Rule*

*Fig. 2.*

*Fig. 3.*

# NDB – Non-Directional Beacon



### Exemplos:

Aeroporto de Congonhas:  
290kHz **IS** 23°32.69S 046°42.70W



.....  
Aeroclube do Bacacheri:  
300kHz **BCH** 25°24.16S 049°13.74W

- . . . - . . .  
Aeroporto Afonso Pena  
390kHz **CRT** 25°31.39S 049°10.29W

- . . - . -  
**Paranaguá (NX)**  
Lat. 25°29'.69 S Long. 048° 19'.59 W  
Frequência: 320 kHz. Emissão: A2A. Potência: 0,2kW.  
Alcance: 300 M.  
Característica do sinal: NX (— . —.—), com intervalo de 7,5 segundos.



# Gutta-percha

- *Palaquium ablongifolia* – Planta da Malásia de onde se extrai uma borracha termoplástica chamada de **Gutta-percha**
- Por ser termoplástica, pode ser facilmente moldada
- 1845: **The Gutta Percha Company**
- 1849: **Siemens & Halske**, construiu um cabo telegráfico isolado com gutta-percha para a travessia do Rio Reno
- 1849: Cabo telegráfico submarino entre Dover (UK) e Calais (França). Primeira tentativa falhou.
- 1850: Novo cabo entre Dover e Calais, com cobertura de cordas de cânhamo, funcionou.
- 1851–1852 a empresa **The Gutta Percha Company** produziu aproximadamente 1400 milhas náuticas (2.500 km) de cabos telegráficos para diversas interligações marítimas, com sucesso.



## Gutta-percha

- Cones de Gutta Percha: usados em ENDODONTIA para enchimento dos canais radiculares de dentes

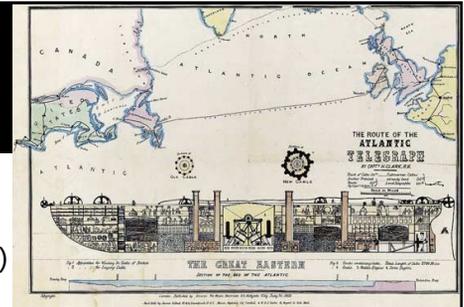


17

## Cabo Irlanda-Canadá

- 1856: Cyrus West Field (EUA) **Atlantic Telegraph Company**  
Diretores: Samuel Morse & William Thomson (Lord Kelvin)
- 2400 NM de cabo – Gutta Percha Co. (26kg/km)
- 1857-1858: HMS Agamemnon & USS Niagara  
11 meses de trabalho, o cabo partiu-se 5 vezes
- 16 de Agosto de 1858: Primeiro telegrama transatlântico:  
Mensagem da Rainha Victória para o Presidente dos EUA  
Sinais extremamente fracos!
- Em setembro de 1859 o ex-medico e electricista  
Wildman Whitehouse resolve fazer por conta própria testes  
no cabo (contrariando instruções de Thomson) e aparentemente  
danifica-o permanentemente devido à alta tensão aplicada.  
Após várias tentativas o cabo é declarado como inativo,  
menos de um mês após ter sido inaugurado!

<https://atlantic-cable.com/>



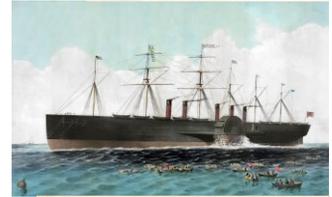
18

# Cabo Irlanda-Canadá

19

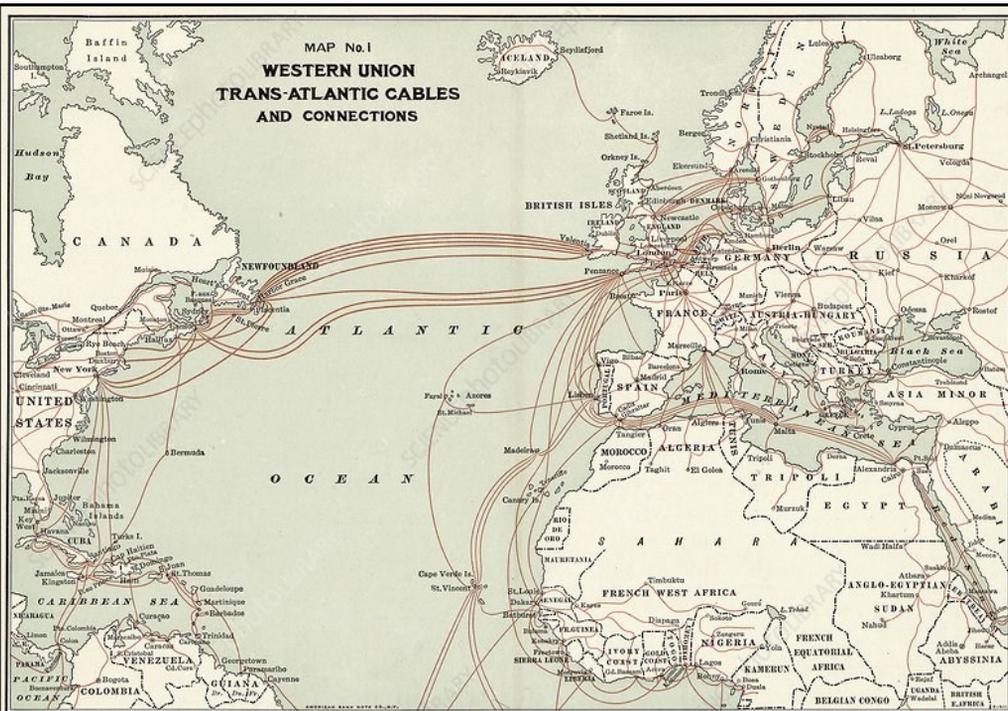


- 1864: Gutta Percha Co. → Telegraph Construction and Maintenance Co.
- Construção de um novo cabo, mais robusto (98 kg/km)
- Conversão do navio *Great Western* em navio de carga
- 1865: início da instalação do novo cabo telegráfico transatlântico  
Ruptura do cabo após 1000 NM
- 1866: nova tentativa (novo cabo)  
De forma surpreendente, a ponta do cabo partido em 1865 foi encontrada e emendada!
- Em setembro de 1866 foi restabelecida a ligação telegráfica transatlântica, operando agora com DOIS cabos!
- Um dos cabos ficou destinado às mensagens no sentido Europa – América do Norte e o outro cabo para as mensagens na direção contrária, permitindo a operação *full duplex* que não estava prevista originalmente!



<https://atlantic-cable.com/>

19



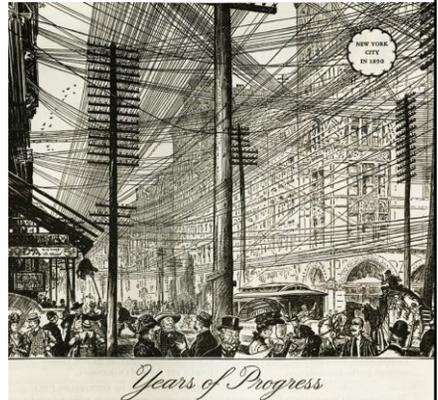
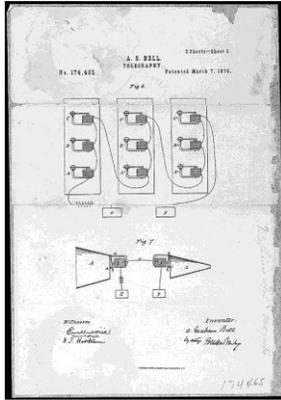
20

1900

20

# Telefone

- Invenção controversa  
Charles Bourseul (1854, França),  
Johann Philipp Reis (1861, Prússia),  
Elisha Gray (1876, EUA),  
Alexander Graham Bell (1876, EUA)
- O invento de A.G.Bell foi o que se consolidou mundialmente e gerou serviços comerciais



## James Maxwell (1831-1876)



## Heinrich Hertz (1857-1894)



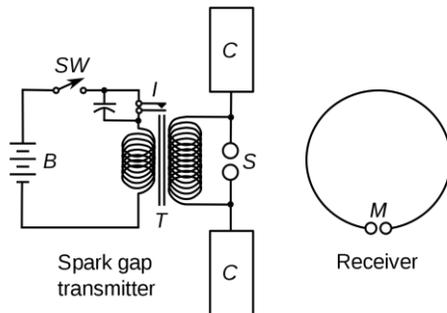
### EQUAÇÕES DO ELETROMAGNETISMO

- Formação: University of Edimburg + University of Cambridge
- Campo de Estudo: ótica e astronomia
- Supôs que as cores era, como as notas musicais, vibrações em diferentes frequências
- King's College, 1860-1865: proposição das **Equações de Maxwell**, fundamentais do Eletromagnetismo

Name	Equation	
	Integral form	Differential form
Faraday's law of induction	$\oint_c \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\iint_s \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$	$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$
Ampère-Maxwell law	$\oint_c \vec{H} \cdot d\vec{l} = \iint_s \vec{J} \cdot d\vec{S} + \iint_s \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$	$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$
Gauss' electric law	$\iint_s \vec{D} \cdot d\vec{S} = \iiint_v \rho \, dV$	$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$
Gauss' magnetic law	$\iint_s \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$

### GERAÇÃO E DETECÇÃO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

- Professor no Karlsruher Institut für Technologie
- 1886-1889: Provou experimentalmente que as ondas descritas por Maxwell realmente existiam e se comportavam de modo semelhante à luz



## Guglielmo Marconi (1874-1937)

- Infância entre Bologna (Itália) e Bedford (UK)
- Educação por tutores particulares  
Augusto Righi – Professor na *Università di Bologna*
- 1894<sup>20 anos</sup>: Reprodução das experiências de Hertz, Construção de um "Detector de Tempestades" e de um dispositivo sem fios que acionava uma campainha distante
- 1895<sup>21 anos</sup>: Reunião com o Diretor dos Correios em Roma: *Via dela Lungara*
- 1896<sup>22 anos</sup>: Mudança para Londres e registro da Patente "Improvements in Transmitting Electrical impulses and Signals"
- 27 de julho, 1896: Demonstração para os Correios
- 1897: primeira transmissão pública do *telégrafo sem fios* – 6 km
- 1897: *The Wireless Telegraph & Signal Company (Marconi Company)*
- 1909: Marconi recebe o Prêmio Nobel de Física  
"for his services in the development and practical application of wireless telegraphy"  
(em parceria com Ferdinand Braun, Professor na Universidade de Strasbourg, inventor do arranjo de antenas conhecido atualmente como *phase array*, altamente direcional)



23

## Guglielmo Marconi (1874-1937)



Equipamento utilizado em uma demonstração do telégrafo sem fios feita por Marconi em 1897 para Engenheiros do *British Post Office*

Dezembro 1901: Pipa com um cabo metálico de 150m usada como antena por Marconi em um teste de transmissão entre a Inglaterra e St. John, Terra Nova (atual Canadá).

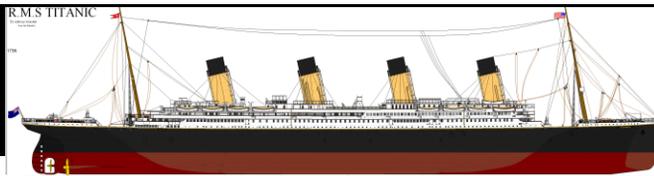
[Há polêmicas se o equipamento de fato funcionou como descrito por Marconi]



24

## RMS Titanic 15-abril-1912

- O *Titanic* possuía um radiotelegrafo fornecido e operado pela empresa de Marconi.
- Operadores: Jack Phillips (desaparecido) & Harold Bride (sobrevivente).
- Marconi estava em NY no momento em que o navio *Carpathia* chegou com os sobreviventes e foi se encontrar com Harold Bride, que foi considerado um herói por ter permanecido no seu posto enquanto o equipamento funcionava.
- Na investigação do acidente, ficou demonstrado que o navio *Californian* estava próximo ao local do acidente do *Titanic* mas com equipamento de radiotelegrafo sem operador (o radiotelegrafo era usado nesta época unicamente para fins sociais...).
- A partir do acidente do *Titanic*, passou a ser obrigatório que os rádios dos navios permanecessem operando 24 horas por dia. Também tornou-se obrigatório ter-se rádios nos navios cargueiros.



25

## Broadcast

- 1909: Charles Herrold abre uma escola para radiotelegrafistas, a *Herrold College of Wireless and Engineering* em San Jose, Califórnia, EUA e obtém uma licença para emissões experimentais de rádio (prefixo 6XF).
- 1912: Herrold começa a transmitir música e notícias sempre nas quartas-feiras à noite, a partir da instalação da escola. Os ouvintes são alunos da escola e algumas famílias com receptores rudimentares. A esposa de C. Herrold é a locutora. O serviço faz grande sucesso na cidade e diversas pessoas encomendam receptores a Herrold, para ouvir as transmissões. Uma loja de discos local fornece os discos em troca de anúncios.
- Por estas características (**emissões regulares + audiência entre o público em geral + anúncios comerciais + notícias**) esta iniciativa é considerada a primeira estação de rádio comercial do mundo.
- Fechada em 1917 devido ao envolvimento dos EUA com a Guerra na Europa
- Em 1921 Herrold obtém uma licença comercial (KQW), mas já existiam diversas emissoras na região. Herrold acabou vendendo a licença KQW para a Igreja Batista de San José e abriu uma oficina de reparos de equipamentos eletrônicos em Oakland CA.



### Musical Concert by Wireless Telephone

By the Associated Press  
San Jose, Cal., July 22.—A musical concert by means of wireless telephone was conducted in this city today by Prof. Charles D. Herrold, assisted by Wireless Telegraph Operator E. A. Foral. The music, which was supplied by a phonograph, was heard by a large number of amateur wireless telegraph operators within a radius of 100 miles of this city, who, by telegraph, signified their choice of musical selections to be transmitted. Anyone having the proper wireless telegraph ear receivers was able to catch the music, as well as the speech, and they pronounced it equal to anything heard over the customary wire telephones. The demonstration lasted two hours.

26

## Telefones portáteis

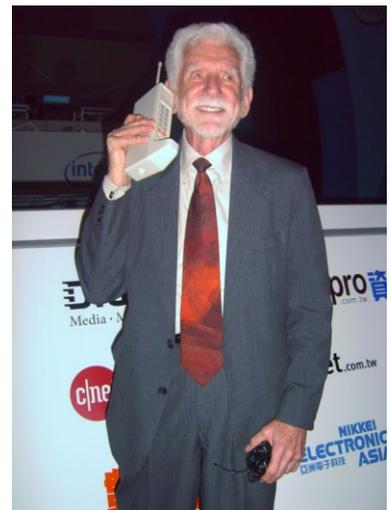
- 1946: "Zero-G" – Mobile Telephone Service (Bell-EUA)
- Na verdade era um terminal da rede fixa, conectado via rádio
- Funcionava somente em veículos devido à necessidade de alimentação em 12V
- Disponível somente em algumas cidades nos EUA. Houve testes em outros países, mas sem a implantação do serviço.
- Baixa qualidade – poucos canais disponíveis



27

## Telefones portáteis

- 1973: **1G** - Martin Cooper & John F. Mitchel – Motorola – Protótipo de rede móvel separada da rede fixa
- Dificuldade de investimento para montagem das redes: atraso na implantação
- 1979: Japão
- 1981: Dinamarca, Finlândia, Noruega e Suécia (Ericsson)



28

## Telefones portáteis

- 1991: **2G** - Thomas Haug (Suécia-Ericsson) & Philippe Dupuis (França-France Telecom+ Alcatel) – Padrão GSM [**Global System for Mobile Communications**]
- Grande sucesso mundial



29

## Telefones portáteis

- 2001: **3G** – NTT DoCoMo (Japão) – tecnologia WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access)
- 2002: Padrão HSPA (High Speed Packet Access), as vezes chamado de **3.5G**



30

## Telefones portáteis

- 2009: **4G**
- WiMAX – IEEE 802.16: Coréia do Sul (Samsung) e EUA (Sprint)
- Long-Term Evolution (LTE – ETSI, *European Telecommunications Standards Institute*)



31

## Telefones portáteis

- 2019: **5G**
- **Etapas:**  
Enhanced Mobile Broadband (eMBB),  
Ultra Reliable Low Latency Communications (URLLC)  
Massive Machine Type Communications (mMTC)



32

5G

33

### On the 5G fast track

A 5G network promises a surfing speed that is 20 times faster than that of a 4G network and the capacity for 1,000 times more devices.

#### HOW FAST IS 5G?

Just how fast does it take to download the movie Star Wars: The Force Awakens in high definition, which has a file size of nearly 4GB?

1980s	1990s	2000s	2010 to present	2020 onwards
<b>1G</b>	<b>2G</b>	<b>3G</b>	<b>4G</b>	<b>5G ?</b>
Theoretical maximum speed: <b>2.4kbps</b>	Theoretical maximum speed: <b>64kbps</b>	Theoretical maximum speed: <b>2Mbps</b>	Theoretical maximum speed: <b>1Gbps</b>	Theoretical maximum speed: <b>20Gbps</b>
Estimated download time: <b>4 months, 27 days</b>	Estimated download time: <b>5 days, 13hr</b>	Estimated download time: <b>4hr 15min</b>	Estimated download time: <b>30sec</b>	Estimated download time: <b>1.5sec</b>

1G

2G

3G

4G

5G

Photo Credit: <https://www.aljazeera.com/beyond-the-gig-the-challenge-of-5g-to-the-network/>

#### WHAT POSSIBILITIES WILL 5G ENABLE?

A full-fledged 5G network's ability to deliver a constant connection without lag will support mission-critical applications.



**Telemedicine**  
Greater access to healthcare and surgery performed remotely



**Autonomous vehicles**  
Safer cars due to better collision avoidance systems



**Internet of Things**  
Real-time monitoring of places and processes



**Autonomous drones**  
For building inspection and delivery of medical supplies



**Industry automation**  
Robots that communicate with one another



**Virtual/augmented reality**  
New modes of personal entertainment and professional training

#### 5G DEVELOPMENT TIMELINE

**2017**  
The Infocomm Media Development Authority conducts first public consultation on the airwaves to be allocated to 5G.

**By end 2019**  
5G airwaves, which are limited in supply, will be issued to two winning business proposals from telcos. The first 5G handsets will go on sale.

**By 2023**  
5G network coverage must be at least 50% islandwide.

**2018-2019**  
All three telcos – Singtel, StarHub and M1 – conduct 5G trials. Singtel partners Ericsson, StarHub works with Nokia and Huawei, and M1 works with Huawei.

**From 2020**  
First commercial 5G networks to be operated by at least two winning telcos.

**From 2025**  
More airwaves may be freed up for 5G use. More networks can be built. Existing networks can be enhanced.



DELTA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ



UFPR

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

