

**PROF.: PAULO GOMES**

**MATÉRIA: Telecomunicações 1 – MOURA LACERDA**

## **ONDAS ELETROMAGNÉTICAS**

Ondas eletromagnéticas são ondas que se formam a partir da combinação dos campos magnético e elétrico, que se propagam no espaço transportando energia. O conceito de onda eletromagnética foi postulado pelo famoso físico escocês James C. Maxwell. É dele o trabalho mais notável no campo do eletromagnetismo. Utilizando-se das leis experimentais de Coulomb, Faraday, Ampère e também das suas próprias concepções, Maxwell construiu um conjunto de equações que resume os conhecimentos sobre o eletromagnetismo. Hoje conhecemos essas equações como as equações de Maxwell e sabemos que foram elas que possibilitaram a existência das ondas eletromagnéticas. Essas equações são importantes para o estudo da eletricidade, assim como as leis de Newton são importantes para a mecânica.

Maxwell provou, através das suas equações, que o distúrbio eletromagnético, o qual é causado pela superposição do campo elétrico e campo magnético, apresenta todas as características ondulatórias e que, sendo assim, a radiação eletromagnética também deveria sofrer os fenômenos da reflexão, refração, difração e a interferência, assim como acontece em uma onda. Foi por esse motivo que o distúrbio causado pelo campo elétrico e magnético acabou por ser denominado de ondas eletromagnéticas.

Os campos elétrico e magnético que dão origem às ondas eletromagnéticas se propagam perpendicularmente um ao outro. É importante saber que, ao contrário das ondas mecânicas, a onda eletromagnética não necessita de um meio material para se propagar, pois o campo elétrico e o campo magnético podem ser estabelecidos na ausência de matéria, ou seja, no vácuo. Sendo assim, a radiação eletromagnética pode se propagar no espaço vazio.

Um resultado muito importante obtido por James Maxwell foi o da velocidade com que as ondas eletromagnéticas se propagam. Utilizando suas equações e por meio de cálculos, ele mostrou que no vácuo, como também no ar, a velocidade de propagação da radiação eletromagnética é igual a:  **$v = 3,0 \times 10^8$  m/s.**

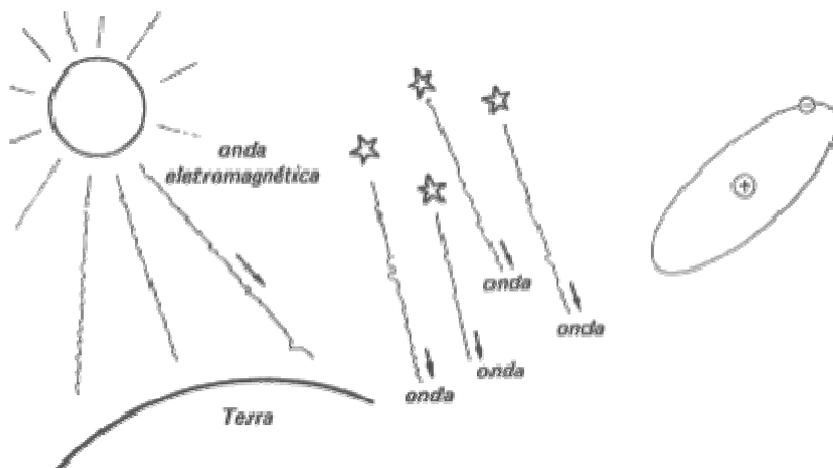
Essa descoberta foi muito importante porque esse valor coincide com a velocidade da luz, fato esse que levou Maxwell a suspeitar que a luz era uma onda eletromagnética. Já no século XIX, os físicos sabiam que a luz se tratava de um fenômeno ondulatório, mas não sabiam qual a natureza dela. Hoje já se sabe que a suspeita de Maxwell é verdadeira: a luz é uma onda eletromagnética. A descoberta da natureza da luz foi um fato muito importante, o qual possibilitou a unificação da Ótica e do Eletromagnetismo. Como os fenômenos luminosos têm origem no eletromagnetismo, por consequência a

Ótica pode ser considerado um ramo do eletromagnetismo e suas leis podem ser deduzidas a partir das equações de Maxwell.

Maxwell morreu muito cedo e por isso não viu suas idéias serem confirmadas. Foi somente no final do século XIX que o físico alemão H. Hertz conseguiu, em laboratório, obter ondas eletromagnéticas com todas as propriedades e características propostas por Maxwell. As experiências que Hertz realizou confirmaram as hipóteses elaboradas por Maxwell, confirmando, dessa forma, que a luz é uma onda eletromagnética

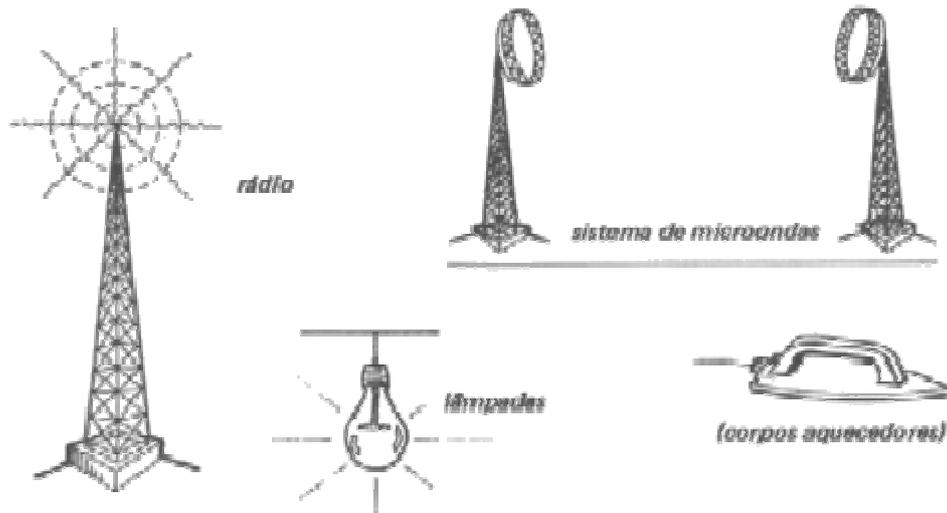
É importante tomarmos consciência de como estamos imersos em ondas eletromagnéticas. Iniciando pelos Sol, a maior e mais importante fonte para os seres terrestres, cuja vida depende do calor e da luz recebidos através de ondas eletromagnéticas.

Além de outras, recebemos também: a radiação eletromagnética emitida, por átomos de hidrogênio neutro que povoam o espaço interestelar da nossa galáxia; as emissões na faixa de radiofrequências dos "quasares" (objetos ópticos que se encontram a enormes distâncias de nós, muito além de nossa galáxia, e que produzem enorme quantidade de energia); pulsos intensos de radiação dos "pulsares" (estrelas pequenas cuja densidade média é em torno de 10 trilhões de vezes a densidade média do Sol).



Essas radiações são tão importantes que deram origem a uma nova ciência, a Radioastronomia, que se preocupa em captar e analisar essas informações obtidas do espaço através de ondas.

Há ainda as fontes terrestres de radiação eletromagnética: as estações de rádio e de TV, o sistema de telecomunicações à base de microondas, lâmpadas artificiais, corpos aquecidos e muitas outras.



Assim como dissemos, a primeira previsão da existência de ondas eletromagnéticas foi feita, em 1864, pelo físico escocês, James Clerk Maxwell . Ele conseguiu provar teoricamente que uma perturbação eletromagnética devia se propagar no vácuo com uma velocidade igual à da luz.

E a primeira verificação experimental foi feita por Henrich Hertz, em 1887. Hertz produziu ondas eletromagnéticas por meio de circuitos oscilantes e, depois, detectou-se por meio de outros circuitos sintonizados na mesma frequência. Seu trabalho foi homenageado posteriormente colocando-se o nome "Hertz" para unidade de frequência.

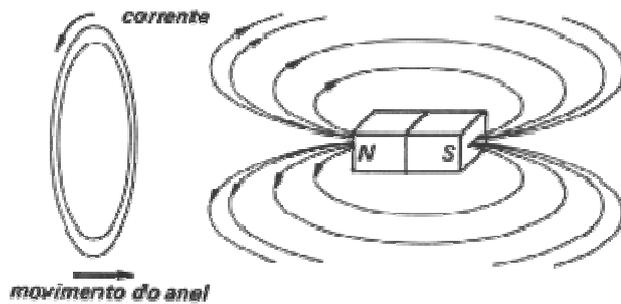
## LEIS DE MAXWELL

Maxwell estabeleceu algumas leis básicas de eletromagnetismo, baseado nas já conhecidas anteriormente, como a Lei de Coulomb, a Lei de Ampère, a Lei de Faraday, etc.

Na realidade, Maxwell reuniu os conhecimentos existentes e descobriu as correlações que havia em alguns fenômenos, dando origem à teoria de que eletricidade, magnetismo e óptica são de fato manifestações diferentes do mesmo fenômeno físico.

O físico inglês Michael Faraday já havia afirmado que era possível produzir um campo a partir de um campo magnético variável.

Imagine um ímã e um anel:

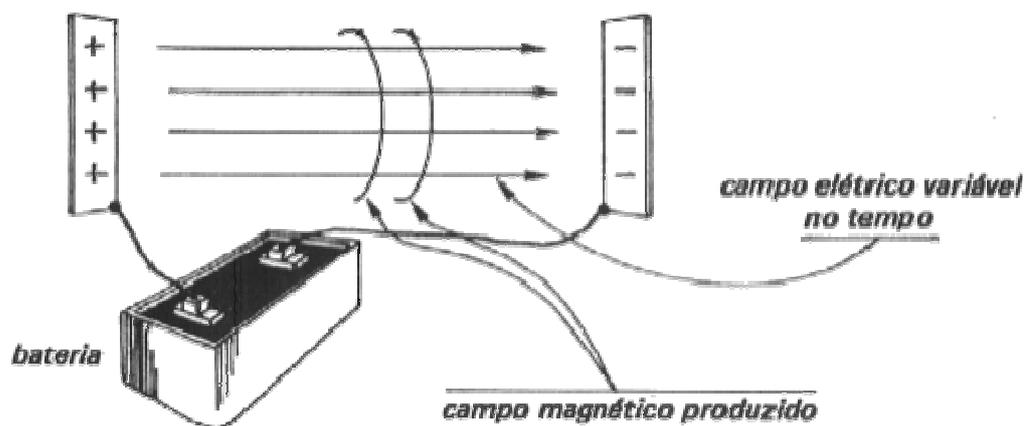


*Aproximando o anel do ímã, aparecerá uma corrente elétrica no anel.*

Considere o ímã perpendicular ao plano do anel. Movendo-se ou o ímã ou o anel, aparecerá uma corrente no anel, causado por um campo elétrico criado devido à variação do fluxo magnético no anel.

Maxwell verificou que o contrário também era possível. Um campo elétrico variável podia gerar um campo magnético.

Imagine duas placas paralelas sendo carregadas progressivamente:



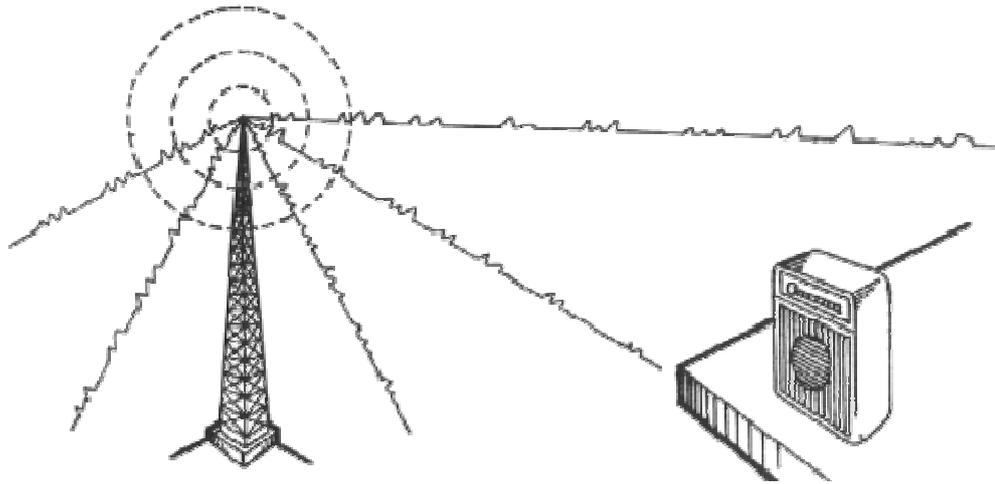
Ao crescerem as cargas das placas, o campo elétrico aumenta, produzindo um campo magnético (devido a variação do campo elétrico).

Embora Maxwell tenha estabelecido quatro equações para descrever os fenômenos eletromagnéticos analisados, podemos ter uma noção de sua teoria baseados em duas conclusões:

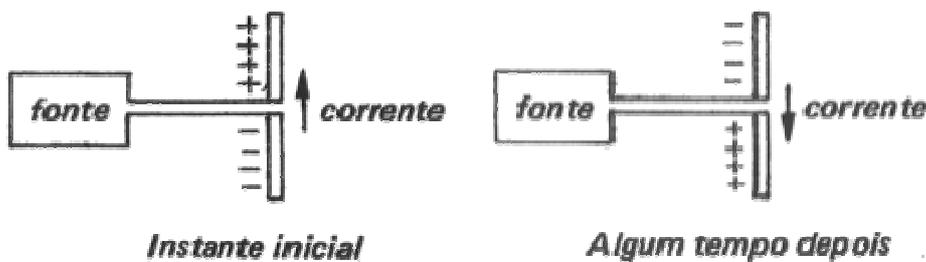
- Um campo elétrico variável no tempo produz um campo magnético.
- Um campo magnético variável no tempo produz um campo elétrico.

## **A GERAÇÃO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS**

Imagine uma antena de uma estação de rádio:



Na extremidade da antena existe um fio ligado pelo seu centro a uma fonte alternada (que inverte o sentido a intervalos de tempo determinados). Num certo instante, teremos a corrente num sentido e, depois de alguns instantes, a corrente no outro sentido.



A velocidade de propagação de uma onda eletromagnética depende do meio em que ela se propaga.

Maxwell mostrou que a velocidade de propagação de uma onda eletromagnética, no vácuo, é dada pela expressão:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \cdot \mu_0}}$$

onde  $\epsilon_0$  é a permissividade elétrica do vácuo e  $\mu_0$  é a permeabilidade magnética do vácuo.

Aplicando os valores de  $\epsilon_0$  e de  $\mu_0$  na expressão acima, encontra-se a velocidade:

$$c \cong 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\text{ou } c = 2,99792458 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (\text{valor exato})$$

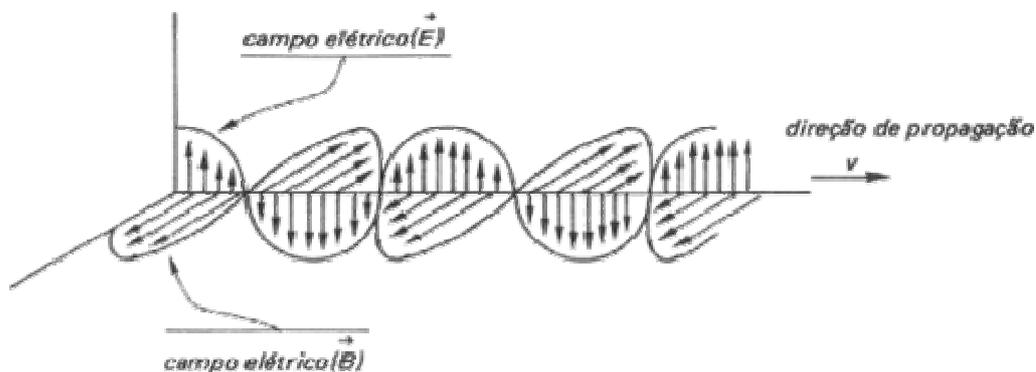
que é igual a velocidade da luz. Nisso Maxwell se baseou para afirmar que a luz também é uma onda eletromagnética.

Podemos resumir as características das ondas eletromagnéticas no seguinte:

- São formadas por campos elétricos e campos magnéticos variáveis.
- O campo elétrico é perpendicular ao campo magnético.
- São ondas transversais (os campos são perpendiculares à direção de propagação).
- Propagam-se no vácuo com a velocidade "c" .
- Podem propagar-se num meio material com velocidade menor que a obtida no vácuo.

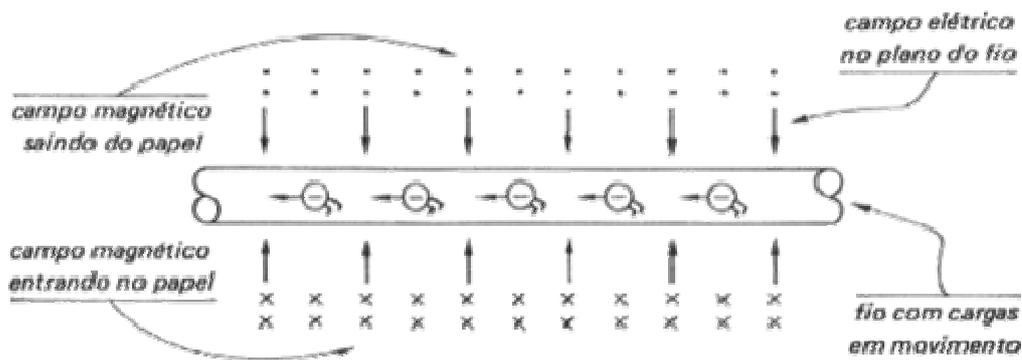
Com isto, o campo elétrico ao redor do fio em um certo instante estará apontando num sentido e, depois, no sentido contrário.

Esse campo elétrico variável (**E**) irá gerar um campo magnético (**B**) , que será também variável. Por sua vez, esse campo magnético irá gerar um campo elétrico. E assim por diante .... Cada campo varia e gera outro campo que, por ser variável, gera outro campo: e está criada a perturbação eletromagnética que se propaga através do espaço, constituída pelos dois campos em recíprocas induções.



Note que o campo elétrico é perpendicular à direção de propagação e o campo magnético também, o que comprova que a onda eletromagnética é uma onda **transversal**.

Além disso, o campo elétrico é perpendicular ao campo magnético, o que podemos verificar facilmente: quando um fio é percorrido por cargas em movimento, o campo elétrico num ponto próximo ao fio pertence ao plano do fio, enquanto o campo magnético está saindo ou entrando neste plano.

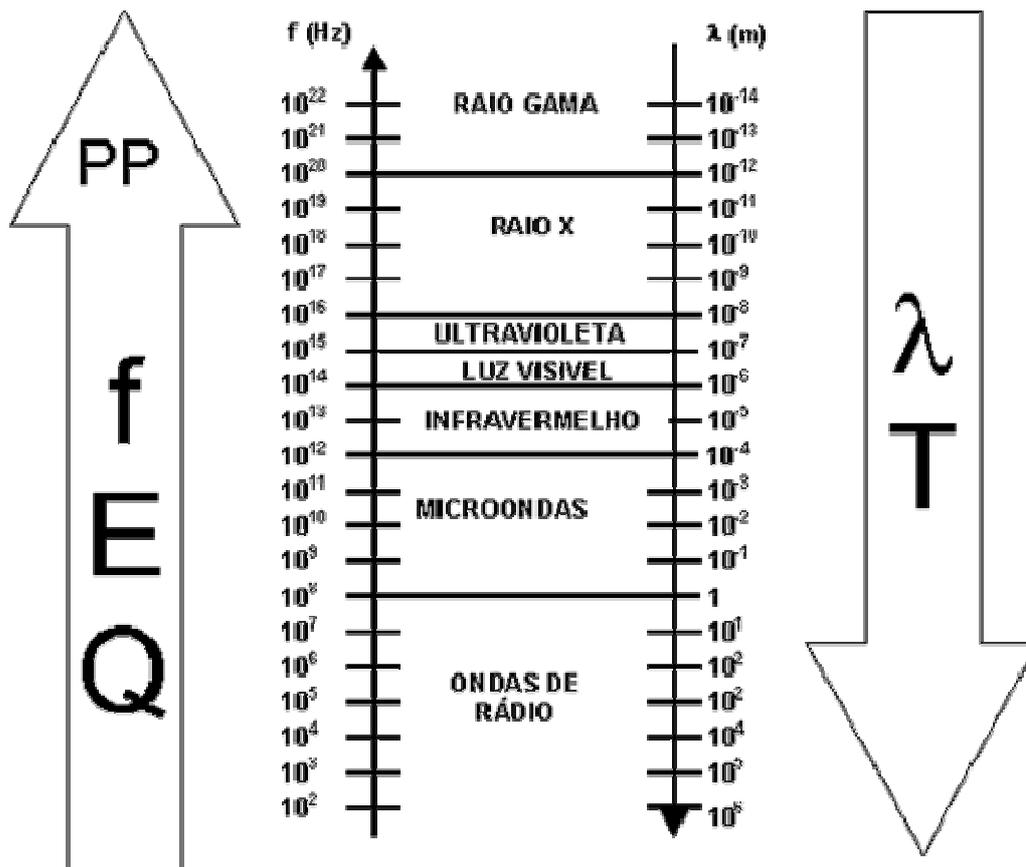


## ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

A palavra espectro (do latim "spectrum", que significa fantasma ou aparição) foi usada por Isaac Newton, no século XVII, para descrever a faixa de cores que apareceu quando numa experiência a luz do Sol atravessou um prisma de vidro em sua trajetória.

Atualmente chama-se espectro eletromagnético à faixa de frequências e respectivos comprimentos de ondas que caracterizam os diversos tipos de ondas eletromagnéticas.

As ondas eletromagnéticas no vácuo têm a mesma velocidade, modificando a frequência de acordo com espécie e, conseqüentemente, o comprimento de onda.



\*\* As escalas de freqüência e comprimento de onda são logarítmicas.

Fisicamente, não há intervalos no espectro. Podemos ter ondas de qualquer freqüências que são idênticas na sua natureza, diferenciando no modo como podemos captá-las.

Observe que algumas freqüências de TV podem coincidir com a freqüência de FM. Isso permite algumas vezes captar uma rádio FM na televisão ou captar um canal de TV num aparelho de rádio FM.

## CARACTERÍSTICAS DAS PRINCIPAIS RADIAÇÕES

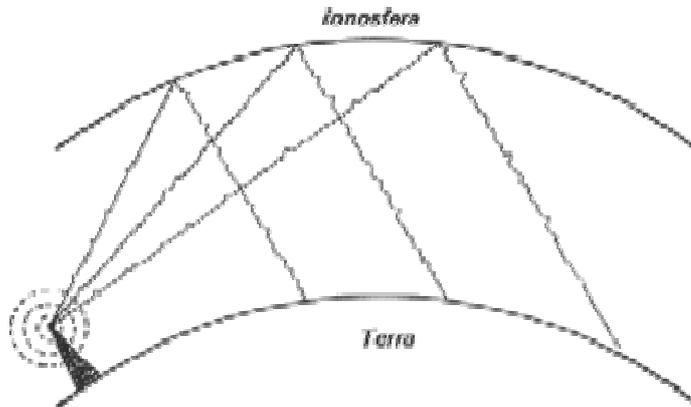
### Ondas de Rádio

"Ondas de rádio" é a denominação dada às ondas desde freqüências muito pequenas, até  $10^{12}$  Hz, acima da qual estão os raios infravermelhos.

As ondas de rádio são geradas por osciladores eletrônicos instalados geralmente em um lugar alto, para atingir uma maior região. Logo o nome "ondas de rádio" inclui as microondas, as ondas de TV, as ondas curtas, as ondas longas e as próprias bandas de AM e FM.

## Ondas de rádio propriamente ditas

As ondas de rádio propriamente ditas, que vão de 10<sup>4</sup> Hz a 10<sup>7</sup> Hz , têm comprimento de onda grande, o que permite que elas sejam refletidas pelas camadas ionizadas da atmosfera superior (ionosfera).



*Reflexão de ondas de rádio de 10<sup>4</sup> Hz a 10<sup>7</sup> Hz na ionosfera.*

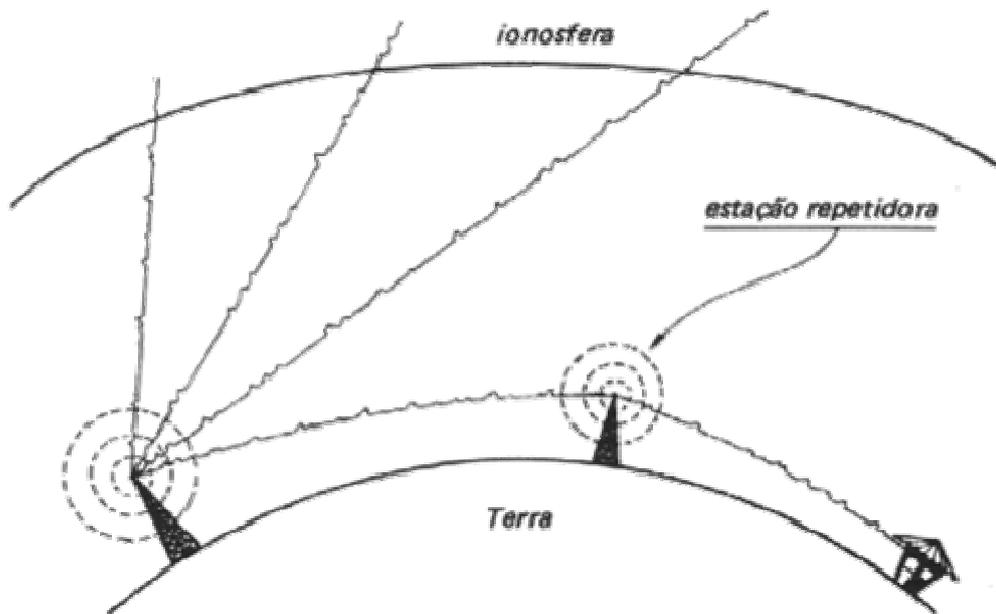
Estas ondas, além disso, têm a capacidade de contornar obstáculos como árvores, edifícios, de modo que é relativamente fácil captá-las num aparelho rádio-receptor.

## Ondas de TV

As emissões de TV são feitas a partir de 5x10<sup>7</sup> Hz (50 MHz) . É costume classificar as ondas de TV em bandas de frequência (faixa de frequência), que são:

- VHF : very high frequency (54 MHz à 216 MHz è canal 2 à 13)
- UHF : ultra-high frequency (470 MHz à 890 MHz è canal 14 à 83)
- SHF : super-high frequency
- EHF : extremely high frequency
- VHFI : veri high frequency indeed

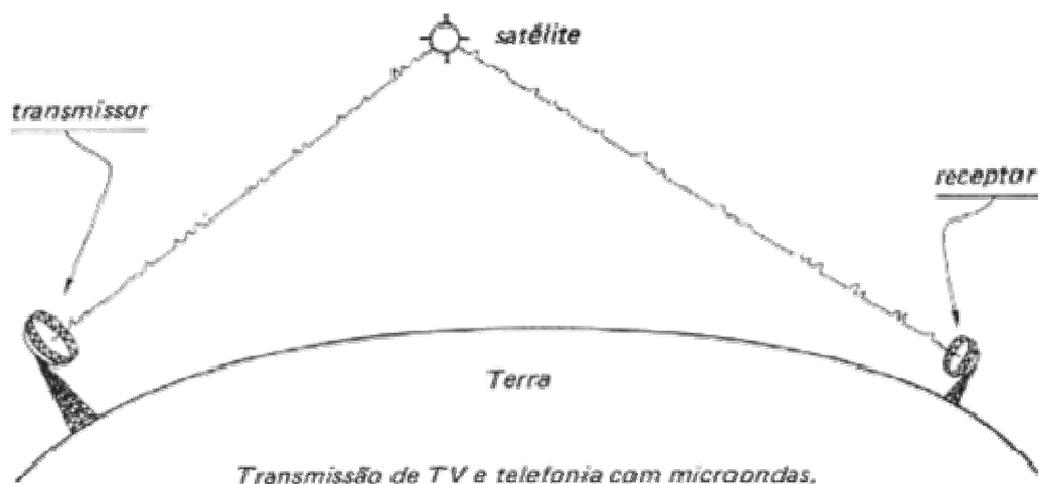
As ondas de TV não são refletidas pela ionosfera, de modo que para estas ondas serem captadas a distâncias superiores a 75 Km é necessário o uso de estações repetidoras.



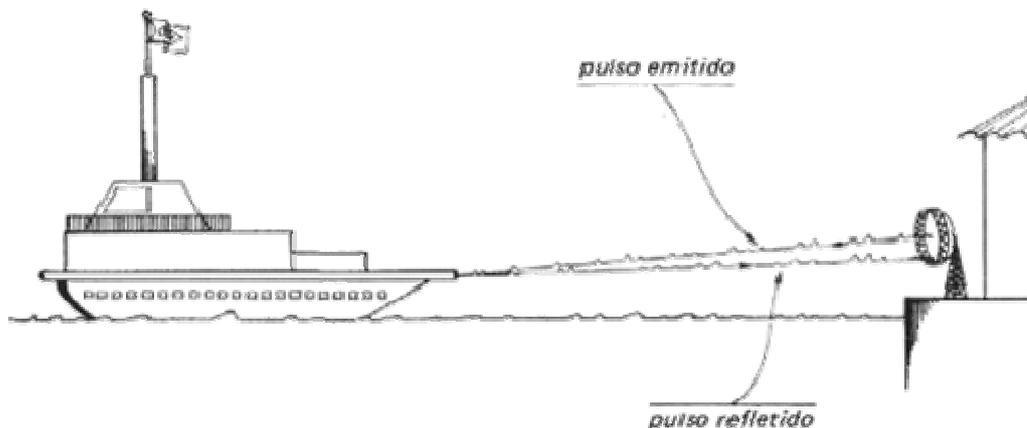
## Microondas

Microondas correspondem à faixa de mais alta frequência produzida por osciladores eletrônicos. Frequências mais altas que as microondas só as produzidas por oscilações moleculares e atômicas.

As microondas são muito utilizadas em telecomunicações. As ligações de telefone e programas de TV recebidos "via satélite" de outros países são feitas com o emprego de microondas.



As microondas também podem ser utilizadas para funcionamento de um radar. Uma fonte emite uma radiação que atinge um objeto e volta para o ponto onde a onda foi emitida. De acordo com a direção em que a radiação volta pode ser descoberta a localização do objeto que refletiu a onda.



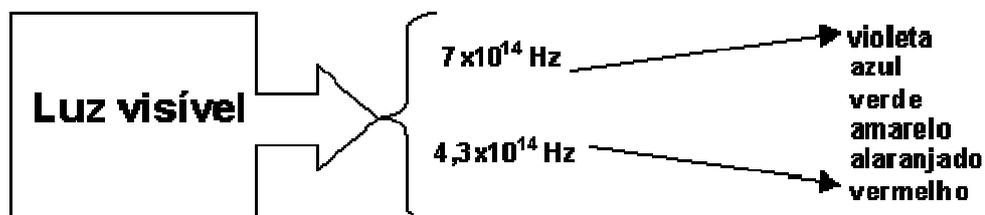
## Luz visível

Note que nosso olho só tem condições de perceber freqüências que vão de  $4,3 \times 10^{14}$  Hz a  $7 \times 10^{14}$  Hz, faixa indicada pelo espectro como luz visível.

Nosso olho percebe a freqüência de  $4,3 \times 10^{14}$  Hz como a cor vermelha. Freqüências abaixo desta não são visíveis e são chamados de **raios infravermelhos**, que têm algumas aplicações práticas.

A freqüência de  $7 \times 10^{14}$  Hz é vista pelo olho como cor violeta. Freqüências acima desta também não são visíveis e recebem o nome de **raios ultravioleta**. Têm também algumas aplicações.

A faixa correspondente à luz visível pode ser subdividida de acordo com o espectro a seguir.



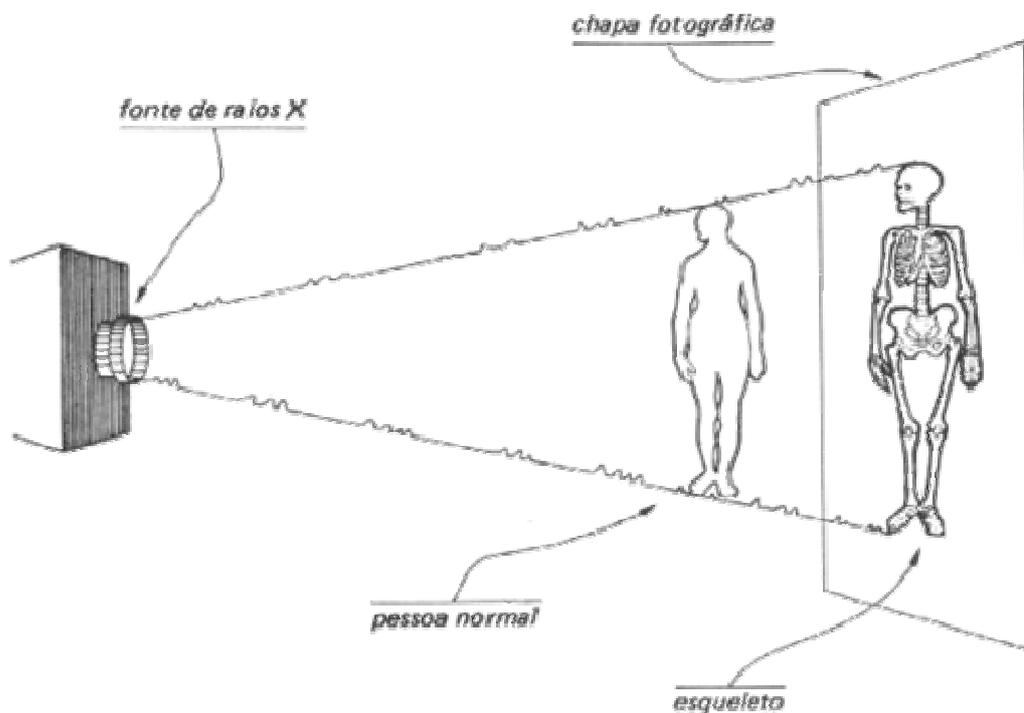
Em inglês: ROYGBV (Red, Orange, Yellow, Green, Blue e Violet)

## Raios X

Os raios X foram descobertos, em 1895, pelo físico alemão Wilhelm Röntgen. Os raios X têm freqüência alta e possuem muita energia. São capazes de atravessar muitas substâncias embora sejam detidos por outras, principalmente pelo chumbo.

Esses raios são produzidos sempre que um feixe de elétrons dotados de energia incidem sobre um obstáculo material. A energia cinética do feixe incidente é parcialmente transformada em energia eletromagnética, dando origem aos raios X.

Os raios X são capazes de impressionar uma chapa fotográfica e são muito utilizados em radiografias, já que conseguem atravessar a pele e os músculos da pessoa, mas são retidos pelos ossos.

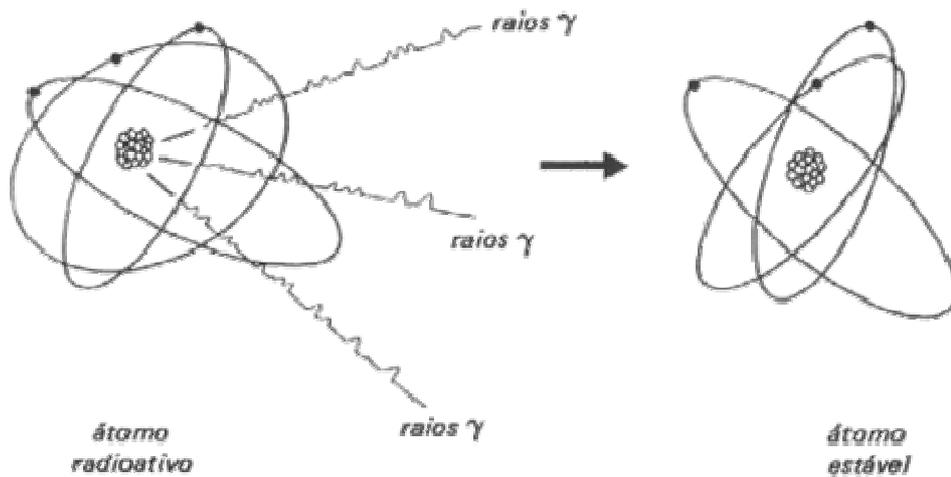


Os raios X são também bastante utilizados no tratamento de doenças como o câncer. Têm ainda outras aplicações: na pesquisa da estrutura da matéria, em Química, em Mineralogia e outros ramos.

### **Raios Gama**

As ondas eletromagnéticas com frequência acima da dos raios X recebe o nome de raios gama (g ).

Os raios g são produzidos por desintegração natural ou artificial de elementos radioativos.



*Processo de decaimento de uma amostra radioativa.*

---

*OBS.: Alguns átomos também emitem partículas  $\alpha$  e partículas  $\beta$ .*

Um material radioativo pode emitir raios g durante muito tempo, até atingir uma forma mais estável.

Raios g de alta energia podem ser observados também nos raios cósmicos que atingem a alta atmosfera terrestre em grande quantidade por segundo.

Os raios g podem causar graves danos às células, de modo que os cientistas que trabalham em laboratório de radiação devem desenvolver métodos especiais de detecção e proteção contra doses excessivas desses raios.