

LEB0200 - Física do Ambiente agrícola

Prof. Tiago Bueno de Moraes

tiago.moraes@usp.br



**ENGENHARIA DE
BIOSSISTEMAS**
USP - ESALQ

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ” – ESALQ

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIROSSISTEMAS (LEB)



ESALQ

2023/01

LEB0200 - Física do Ambiente agrícola

Programa:

1. Grandezas Físicas e Sistemas de Unidades;
2. Leis da Termodinâmica;
3. Leis da Radiação Solar;
4. Umidade Relativa do Ar;
5. Física da água no solo.

2023/01

Professores Ministrantes:

Prof. Tiago Bueno de Moraes e-mail: tiago.moraes@usp.br
Prof. Jarbas Honorio de Miranda e-mail: jhmirand@usp.br

Sala Prof. Tiago (ESALQ): 3447-5041
Sala Prof. Jarbas (ESALQ): 3447-5040

Estagiária PAE:

Mestranda Bruna Marques de Queiroz
(Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas – PPGESA)
Email: bruna.marques.queiroz@usp.br

Turma de Segunda e Sexta

Horário:

Segunda-feira e Sexta-Feira: 10:00 às 11:40

Local das aulas: Anfiteatro do Pavilhão de Engenharia (Dept. de Engenharia de Biosistemas)

Período Letivo: 13/03/2023 a 15/07/2023

Avaliação:

Os estudantes serão avaliados por Exercícios e **3 Provas** que ocorrerão nas seguintes datas:

Atividade	Data	Peso
Exercícios		10%
PROVA 1	17/04/2023 (segunda-feira)	30%
PROVA 2	19/05/2023 (sexta-feira)	30%
PROVA 3	30/06/2023 (sexta-feira)	30%
PROVA SUBSTITUTIVA	07/07/2023 (sexta-feira)	(substituirá a menor nota das provas ao longo do semestre)

Turma de Terça e Quinta

Horário:

Terça-feira e Quinta-Feira: 14:00 às 15:40

Local das aulas: Anfiteatro do Pavilhão de Engenharia (Depto. de Engenharia de Biosistemas)

Período Letivo: 13/03/2023 a 15/07/2023

Avaliação:

Os estudantes serão avaliados por Exercícios e **3 Provas** que ocorrerão nas seguintes datas:

Atividade	Data	Peso
Exercícios		10%
PROVA 1	18/04/2023 (terça-feira)	30%
PROVA 2	18/05/2023 (quinta-feira)	30%
PROVA 3	29/06/2023 (quinta-feira)	30%
PROVA SUBSTITUTIVA	06/07/2023 (quinta-feira)	(substituirá a menor nota das provas ao longo do semestre)

3 Provas

- P1 → abril (30%)
- P2 → maio (30%)
- P3 → junho (30%)

+ Lista de exercícios (10%)

Será aprovado se:

Frequência $\geq 70\%$

Nota Final ≥ 5 pontos

LEB0200 - Física do Ambiente agrícola

Mês	Dia	Assunto	Aula
Março	13	Início das Aulas (Apresentação da Disciplina)	Prof. Tiago
	17	Aula 1 – Sistemas de Unidades e Análise Dimensional	Prof. Tiago
	20	Aula 2 – Sistemas de Unidades e Análise Dimensional	Prof. Tiago
	24	Aula 3 – Sistemas de Unidades e Análise Dimensional + Exercícios	Prof. Tiago
	27	Aula 4 – Sistemas de Unidades e Análise Dimensional + Exercícios	Prof. Tiago
	31	Aula 5 – Termodinâmica de Sistemas Gasosos	Prof. Tiago
Abril	03	<i>Semana Santa. Não haverá aula.</i>	-
	07	<i>Semana Santa. Não haverá aula.</i>	-
	10	Aula 6 – Termodinâmica de Sistemas Gasosos	Prof. Tiago
	14	Aula 7 – Termodinâmica de Sistemas Gasosos + Exercícios	Prof. Tiago
	17	Prova P1	Prof. Tiago
	21	<i>Feriado Tiradentes. Não haverá aula.</i>	-
	24	Aula 9 – Termodinâmica - Processo Adiabático	Prof. Tiago
	28	Aula 10 – Termodinâmica - Processo Adiabático	Prof. Tiago
Maio	01	<i>Feriado dia do Trabalho. Não haverá aula.</i>	-
	05	Aula 11 – Termodinâmica - Processo Adiabático (Exercícios)	Prof. Tiago
	08	Aula 12 – Leis da Radiação Térmica	Prof. Jarbas
	12	Aula 13 – Leis da Radiação Térmica	Prof. Jarbas
	15	Aula 14 – Leis da Radiação <u>Térmica</u> + Exercícios	Prof. Jarbas
	19	Prova P2	Prof. Jarbas

Seg-Sex

LEB0200 - Física do Ambiente agrícola

Calendário

Ter-Qui

Mês	Dia	Assunto	Aula
Março	14	Início das Aulas (Apresentação da Disciplina)	Prof. Tiago
	16	Aula 1 – Sistemas de Unidades e Análise Dimensional	Prof. Tiago
	21	Aula 2 – Sistemas de Unidades e Análise Dimensional	Prof. Tiago
	23	Aula 3 – Sistemas de Unidades e Análise Dimensional + Exercícios	Prof. Tiago
	28	Aula 4 – Sistemas de Unidades e Análise Dimensional + Exercícios	Prof. Tiago
	30	Aula 5 – Termodinâmica de Sistemas Gasosos	Prof. Tiago
Abril	04	<i>Semana Santa. Não haverá aula.</i>	-
	06	<i>Semana Santa. Não haverá aula.</i>	-
	11	Aula 6 – Termodinâmica de Sistemas Gasosos	Prof. Tiago
	13	Aula 7 – Termodinâmica de Sistemas Gasosos + Exercícios	Prof. Tiago
	18	Prova P1	Prof. Tiago
	20	Aula 9 – Termodinâmica - Processo Adiabático	Prof. Tiago
	25	Aula 10 – Termodinâmica - Processo Adiabático	Prof. Tiago
	27	Aula 11 – Termodinâmica Proc. Adiabático + Exercícios	Prof. Tiago
	02	Aula 12 – Leis da Radiação Térmica	Prof. Jarbas
	04	Aula 13 – Leis da Radiação Térmica	Prof. Jarbas
	09	Aula 14 – Leis da Radiação Térmica + Exercícios	Prof. Jarbas

LEB0140 – Física (Ciências dos Alimentos)

Calendário

Quarta (noite)

DISTRIBUIÇÃO DOS TÓPICOS DAS AULAS

Mês	Dia	Assunto	Aula
Março	15	Início das Aulas (Apresentação da Disciplina) Aula 1. Sistemas de Unidades e Análise Dimensional	Prof. Tiago
	22	Aula 2 e 3. Sistemas de Unidades e Análise Dimensional	Prof. Tiago
	29	Aula 4 e 5. Sistemas de Unidades e Análise Dimensional + Exercícios	Prof. Tiago
Abril	05	<i>Semana Santa. Não haverá aula.</i>	-
	12	Aula 6 e 7. Termodinâmica de Sistemas Gasosos	Prof. Tiago
	19	Aula 8 e 9. Termodinâmica de Sistemas Gasosos + Exercícios	Prof. Tiago
	26	Prova P1	Prof. Tiago
Maio	03	Aula 10 e 11. Leis da Radiação Térmica	Prof. Jarbas
	10	Aula 12 e 13. Leis da Radiação Térmica	Prof. Jarbas
	17	Aula 14 e 15. Leis da Radiação Térmica + Exercícios	Prof. Jarbas
	24	Aula 16 e 17. Umidade Relativa do Ar	Prof. Jarbas
	31	Prova P2	Prof. Jarbas
Junho	07	Aula 18 e 19. Umidade Relativa do Ar + Exercícios	Prof. Jarbas
	14	Aula 20 e 21. Hidrodinâmica	Prof. Jarbas
	21	Aula 22 e 23. Hidrodinâmica + Exercícios	Prof. Jarbas
	28	Prova P3	Prof. Tiago
Julho	05	Prova Substitutiva	(Matéria do semestre)

Observação importante sobre faltas:

Não há abono de faltas, pois a frequência de alunos é obrigatória (Parágrafo 3º. do Artigo 47º. /Capítulo 4º da LDB da Educação Nacional, Lei no. 9394 de 20/12/1996).

* Serão contabilizadas em função do número de aulas lecionadas e dias de prova (70% de frequência)

Maiores informações:

Com o Docente da Disciplina ou com a Secretaria de Graduação do Depto. de Engenharia de Biosistemas (LEB).

Literatura Recomendada:

- Acervo da Biblioteca Central da ESALQ
- GARCIA, E.A.C. Biofísica. Sarvier, 2002. 387p.
- MOURÃO JÚNIOR, C.A.; ABRANOV, D.M. Curso de Biofísica. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 2008.
- OKUNO, E.; I.L. CALDAS & C. CHOW. Física para Ciências Biológicas e Biomédicas. HARPER & ROW do Brasil, São Paulo, 1982. 490 pp.
- SERWAY, R.A. & JEWETT Jr., J.W. Princípios de Física, volumes 1 e 2. Thomson, São Paulo, 2004.
- SERWAY, R.A. & JEWETT Jr., J.W. Física para Cientistas e Engenheiros – v. 2 – Oscilações, Ondas e Termodinâmica. Cengage Learning, 2011.
- Moodle USP: e-Disciplinas (Moodle do Stoa)

Fundamentos de Termodinâmica

Termodinâmica: estudo da **energia térmica**, transferência e transformação da energia na matéria macroscópica. Tem muitos termos e conceitos:

- ❑ Sistema de Unidades, Conversões, Grandezas Físicas;
- ❑ Conceitos fundamentais de Termodinâmica: Lei dos gases; Temperatura, Calor, Trabalho, Calor específico; Capacidade térmica; Sistemas Termodinâmicos; etc ...
- ❑ Leis da Termodinâmica; Processos Termodinâmicos: Isotérmico, Isovolumétrico e Isobárico; (aulas 1 → 7) (Cap. e Lista 1 e 2)

Prova 1

- ❑ Processo Adiabático; Mecanismos de transferência de calor: Condução; Convecção; Radiação; etc... (Aulas 8 → etc..)

Prova 2

Aula de hoje:

Processos de Transferência de Calor:

- Condução

- Convecção

- Radiação

Conceitos fundamentais

- **Calor:** É a energia que entra ou sai do sistema (“*energia em movimento*”), em virtude da diferença de temperatura entre o sistema termodinâmico e as suas vizinhanças.



Existem três processos de transferência de Calor:

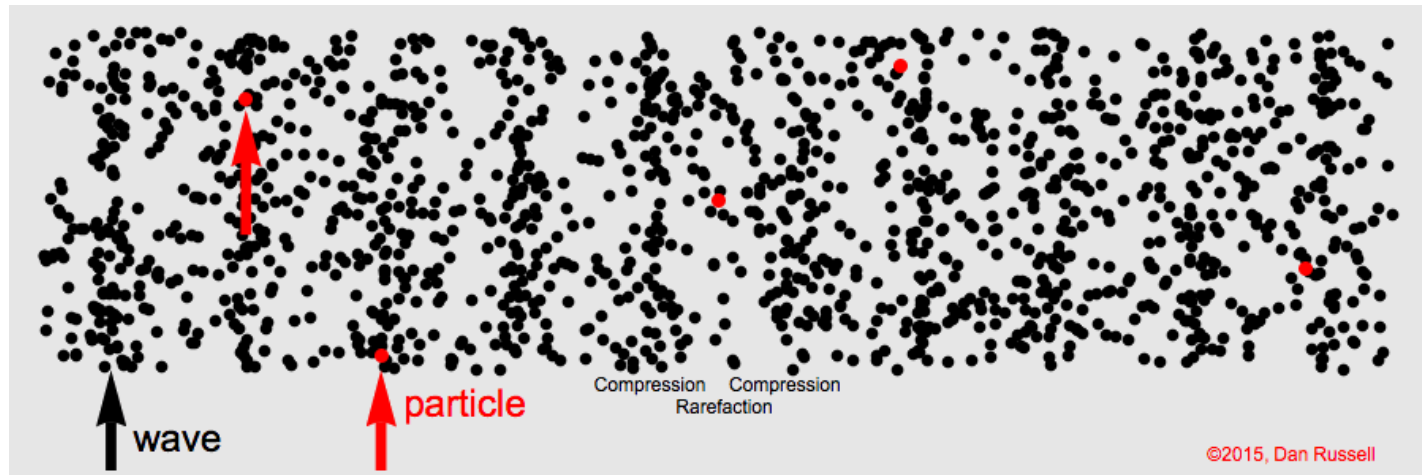
- ✓ condução
- ✓ convecção
- ✓ radiação

Unidade de medida (Energia):
[Joules] , [cal] , etc

Ondas

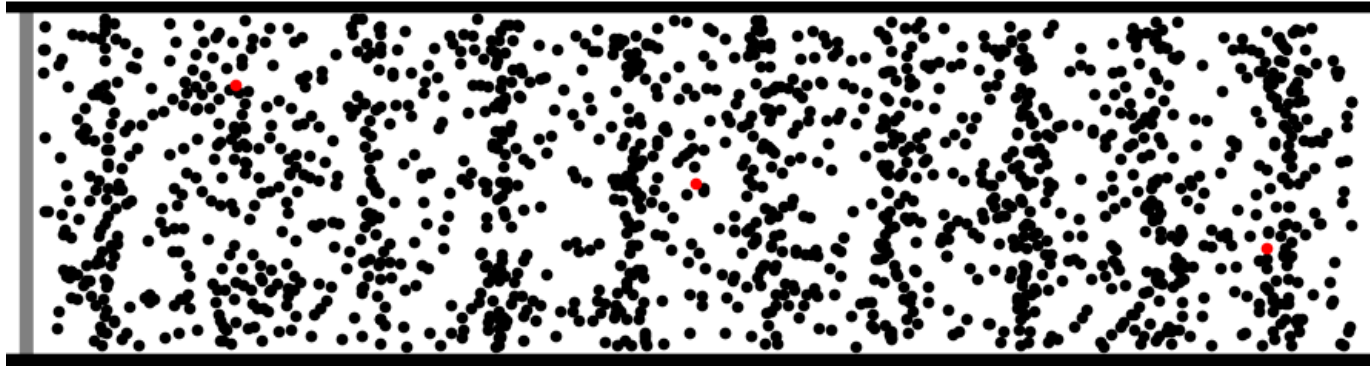
©2002, Dan Russell

Ondas são oscilações que se deslocam em um meio, mas que não carregam matéria. (transportam energia!)



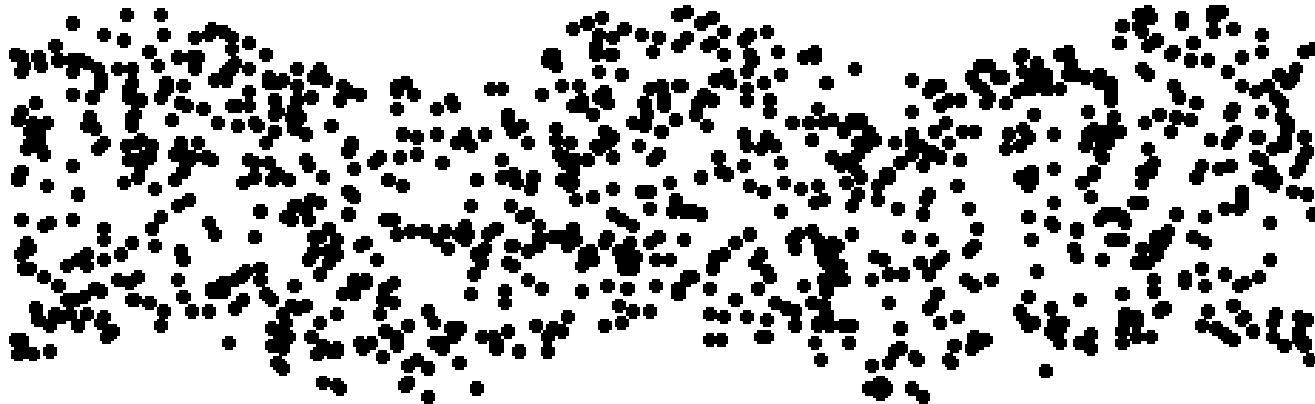
Ondas

Ondas longitudinais

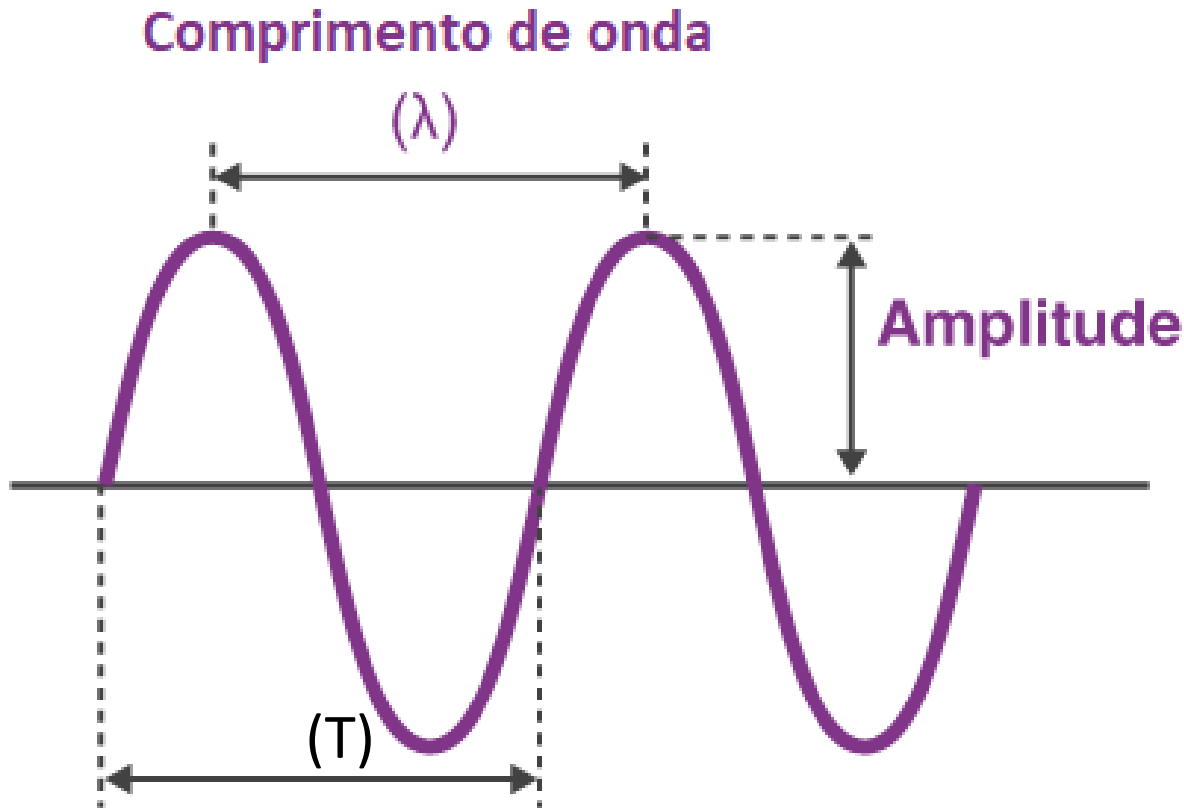


©2011. Dan Russell

Ondas transversais



Ondas



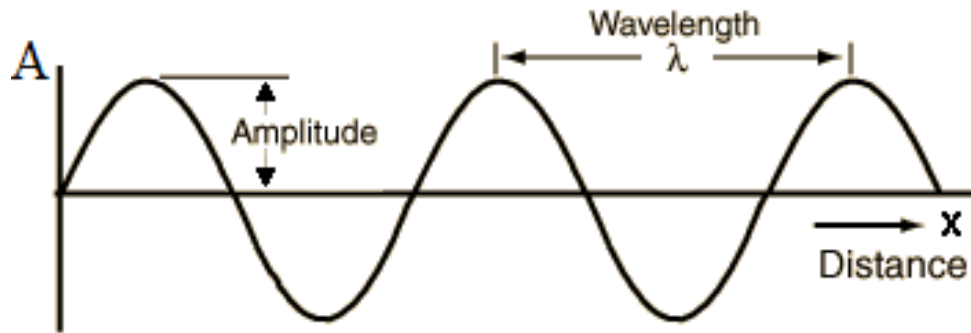
(Uma oscilação)
Frequência é o número de oscilações em um segundo

$$f = \frac{1}{T}$$

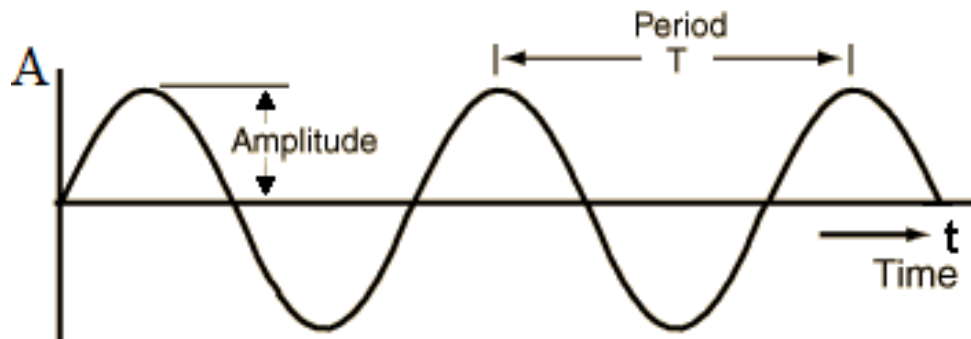
Período (T) é o tempo que leva para ocorrer uma oscilação

Frequência é igual a 1/Período e medido em Hertz = 1/seg

Descrição matemática das ondas



Oscilação em função da distância...



Oscilação em função do tempo...

- Comprimento de onda;
- Período;
- Amplitude;
- Velocidade da onda!

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{\lambda}{T} \quad v = \lambda \cdot f$$

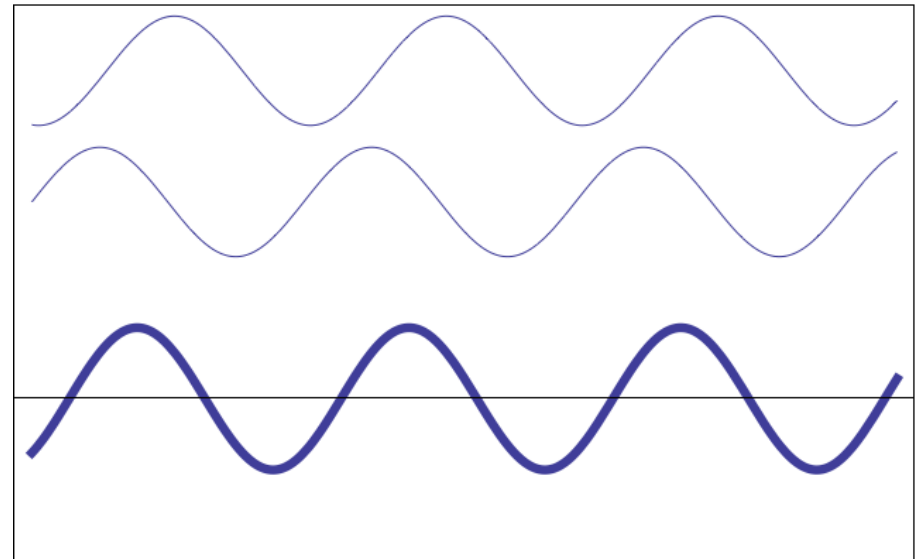
Velocidade de propagação da onda

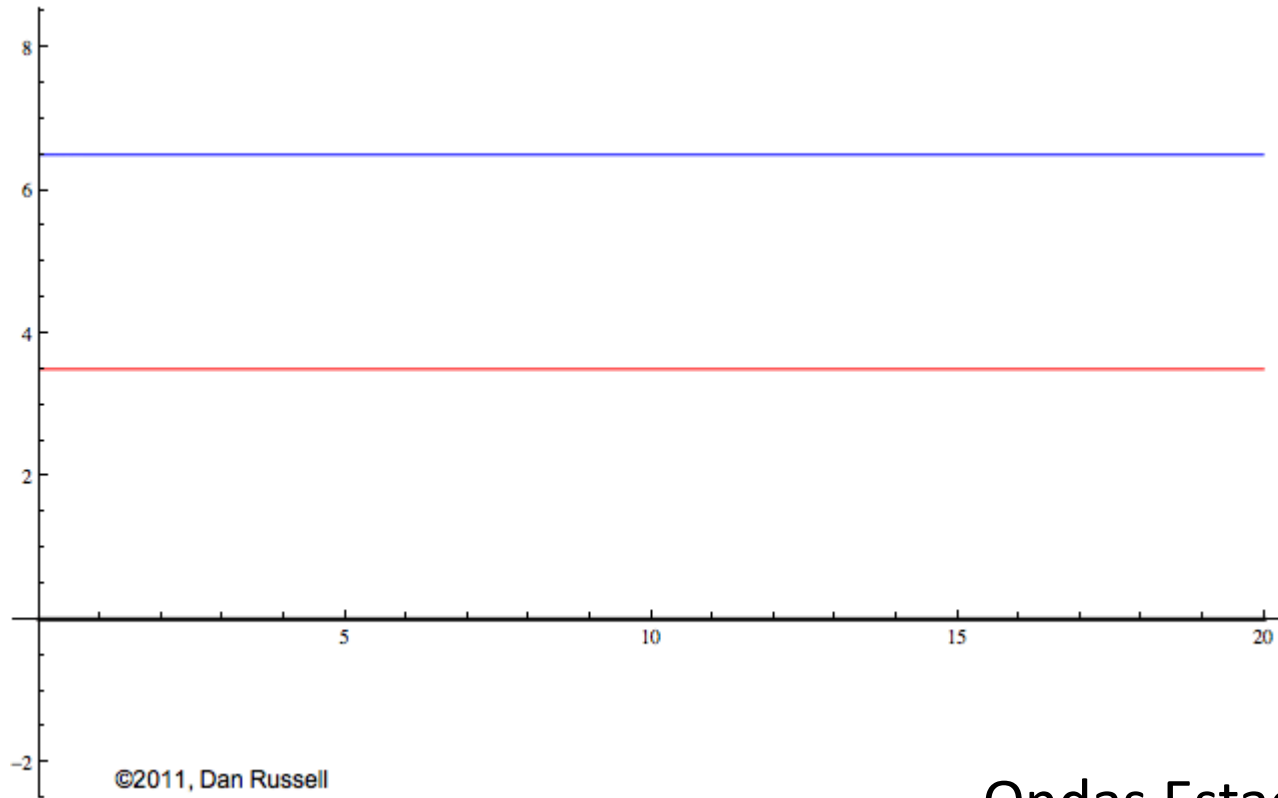
Ondas Mecânicas



Interferência construtiva
e destrutiva

Resultante:

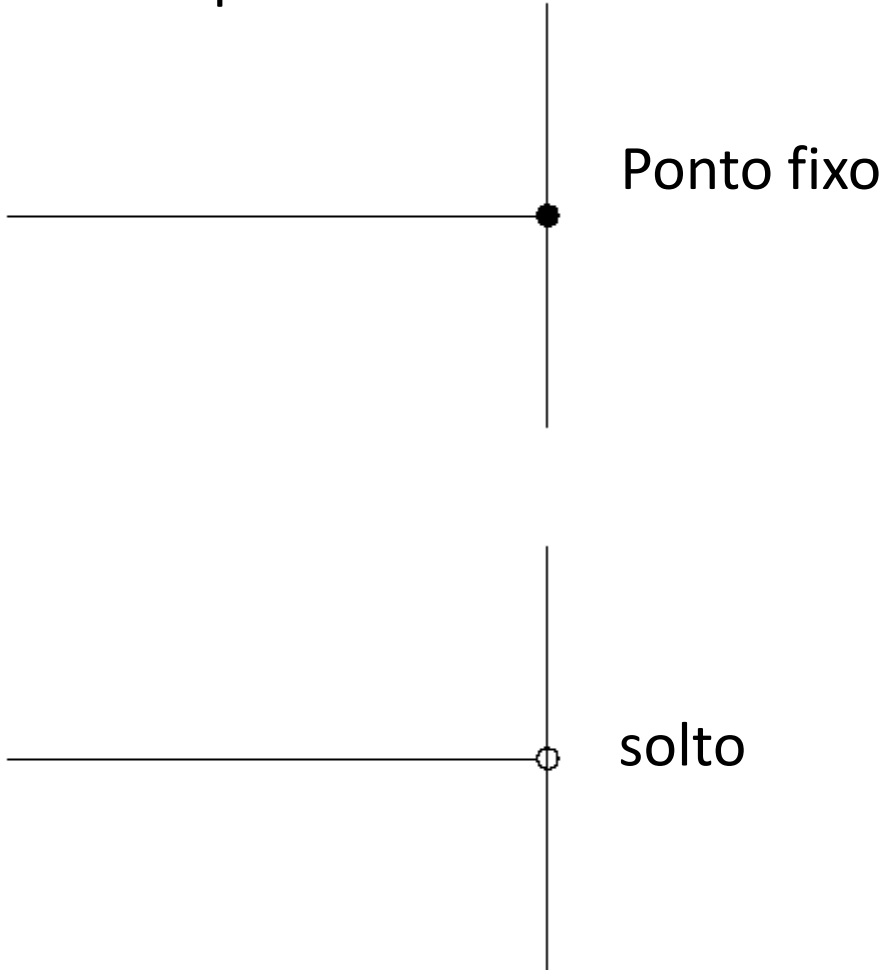




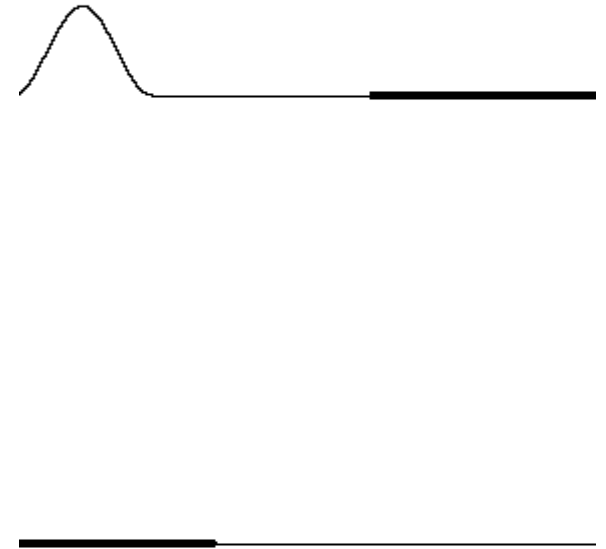
Ondas Estacionárias

Reflexão de Ondas

Reflexão pulso



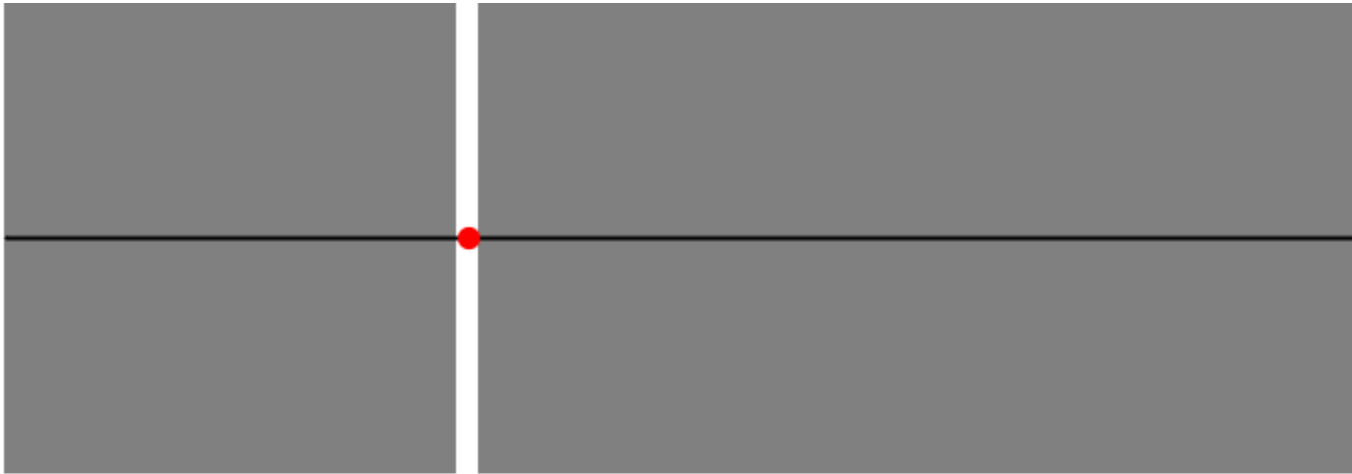
Mudança de material



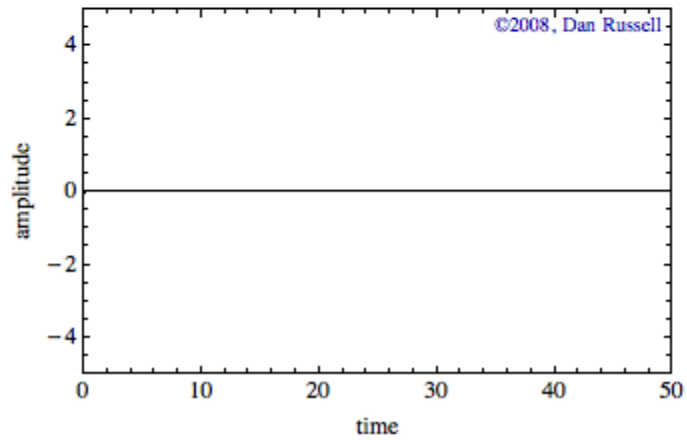
Ondas

Intensidade de uma onda

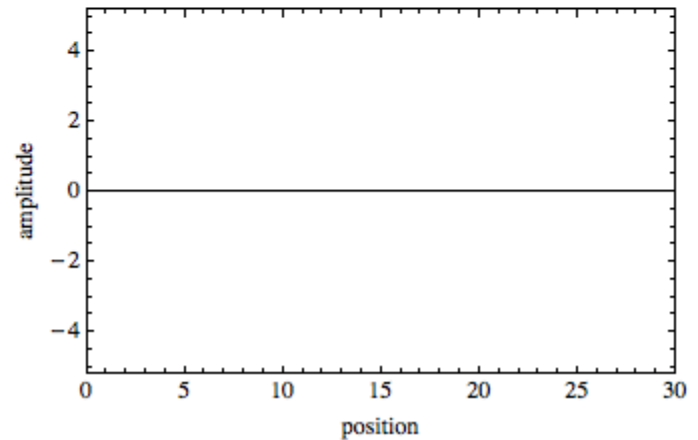
(Transmissão de energia)



Time behavior at $x=10.25$



Snapshot of wave at $t=27s$



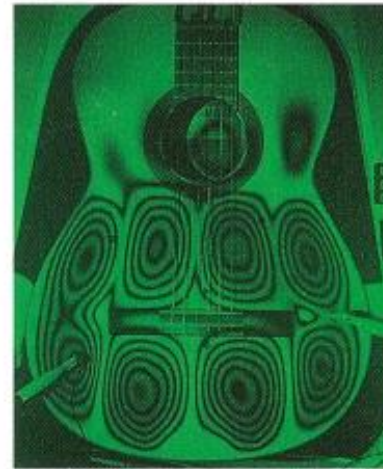
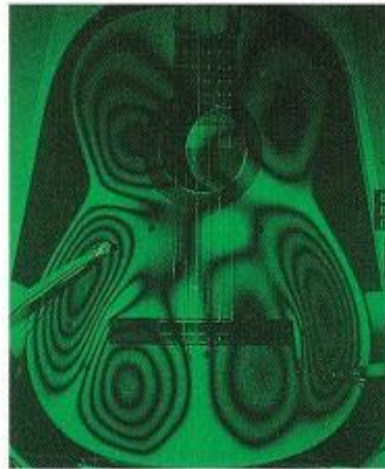
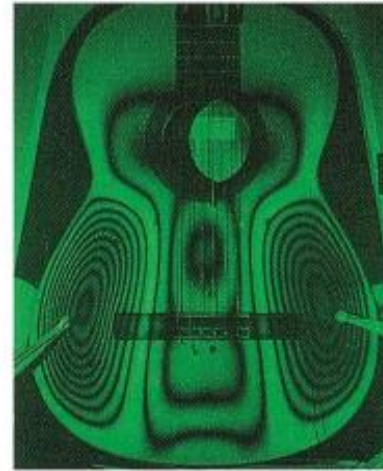
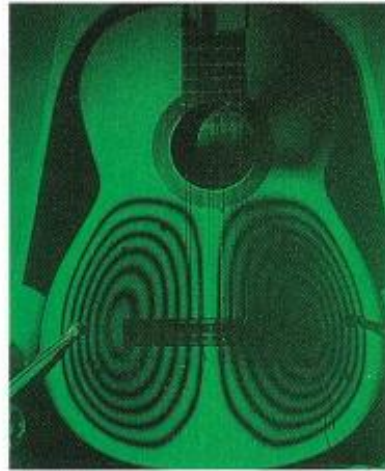
Exemplo Diapasão: Transferência de energia

Diapasão

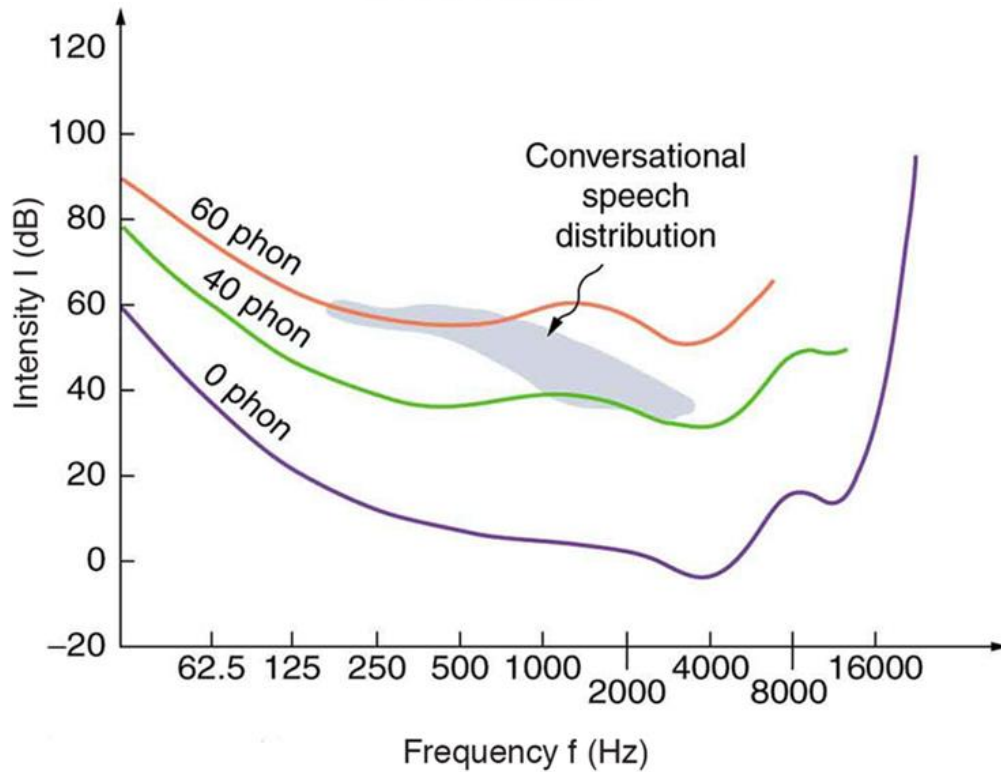
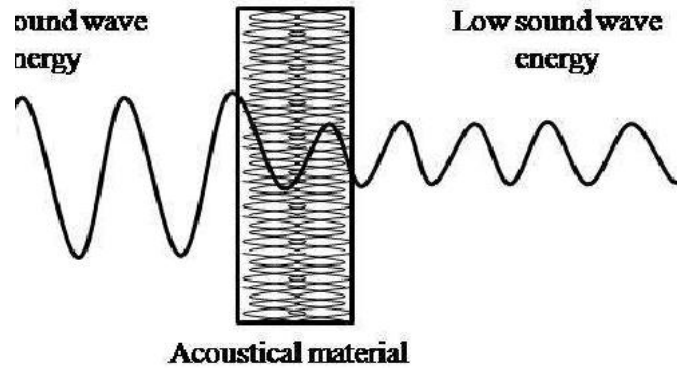


Modos Normais

Padrões de ressonância (*modos*) de um violão

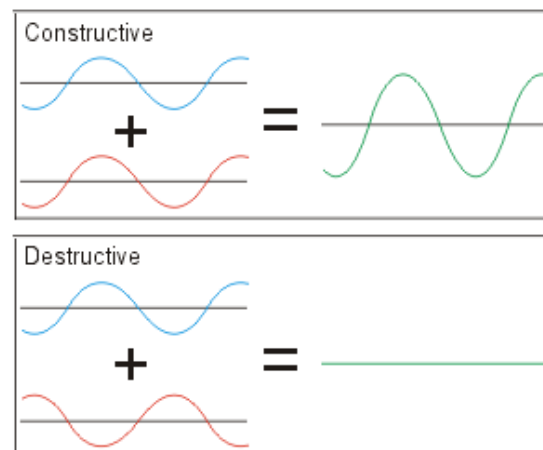
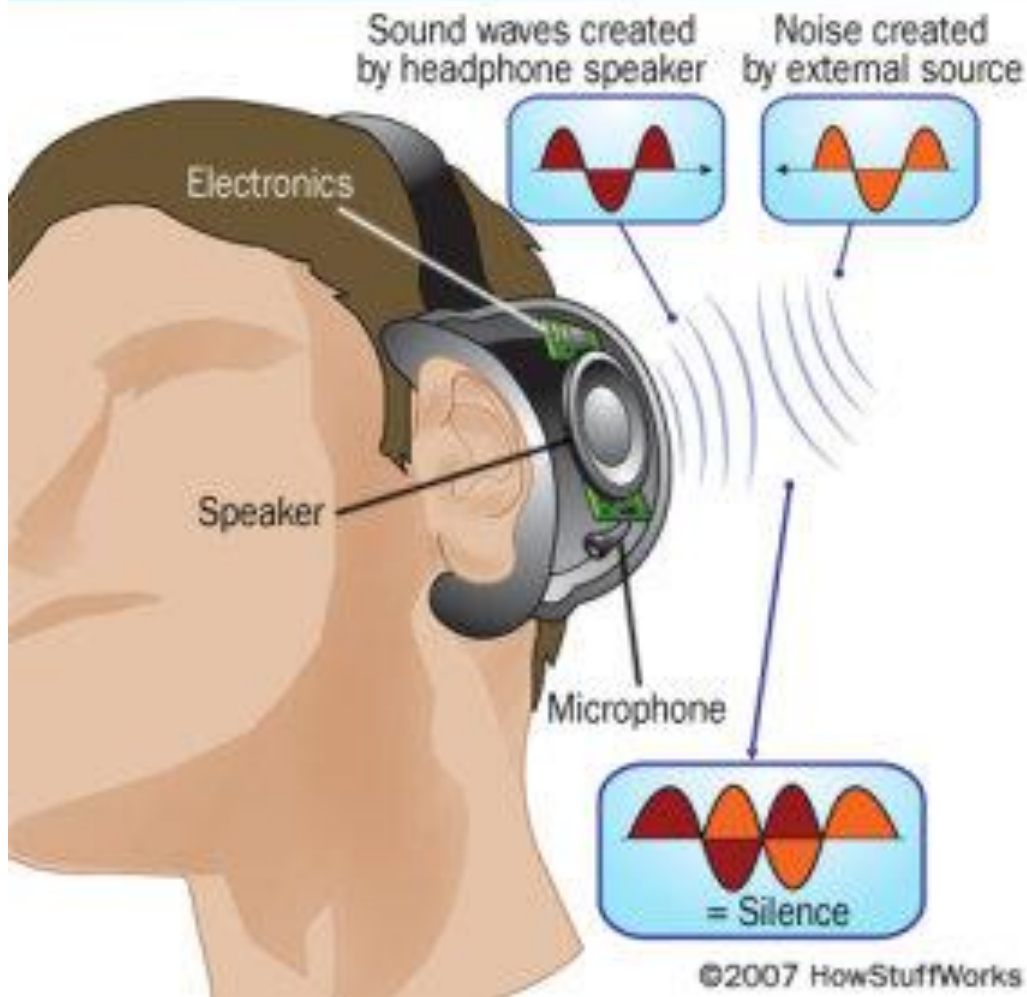


Protetor auditivo

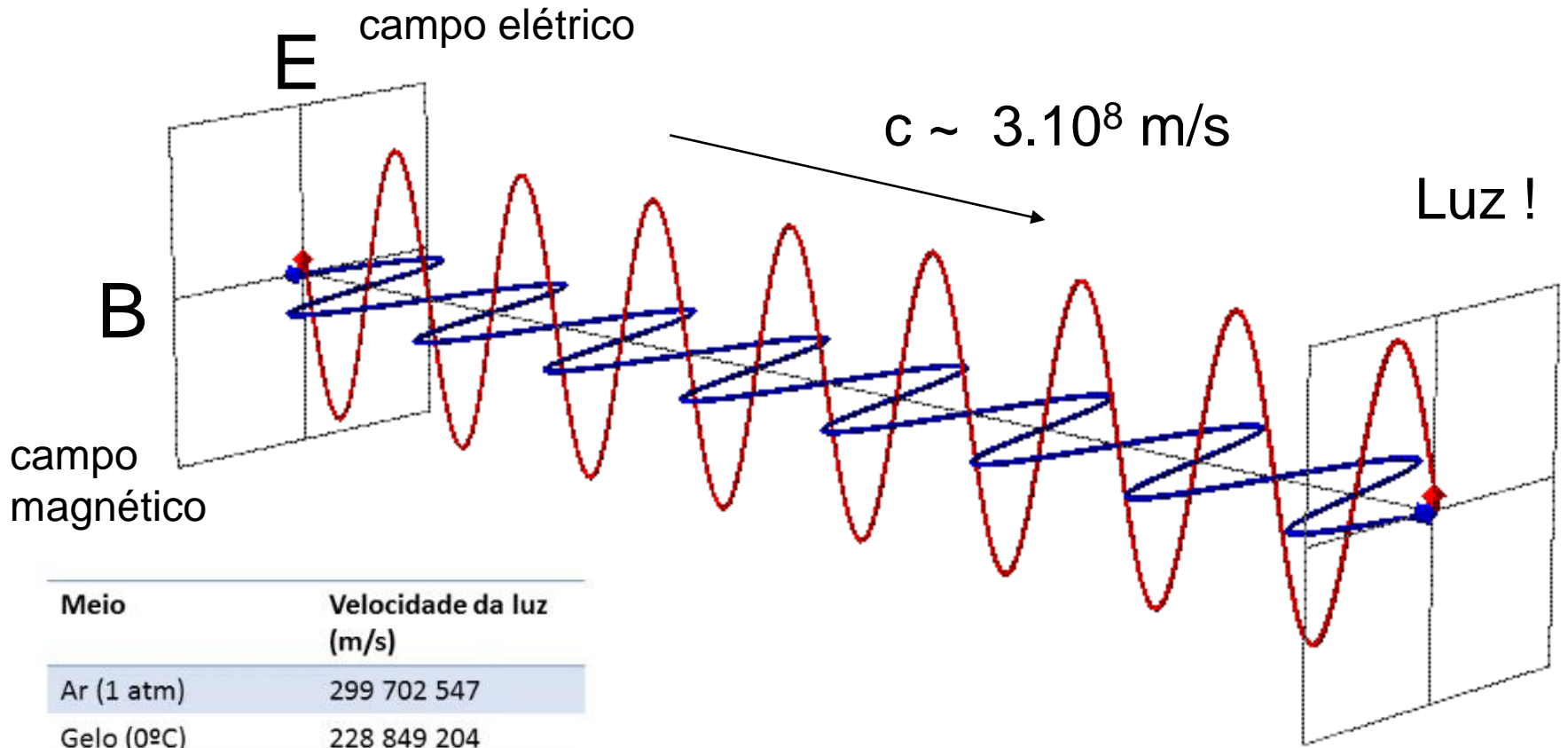


Fones *noise-canceling*

Inside noise-canceling headphones



Ondas Eletromagnéticas



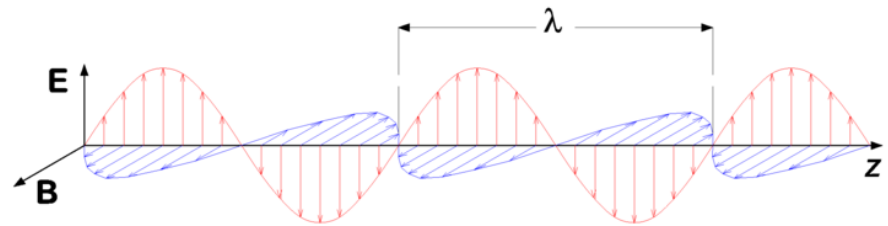
campo magnético

campo elétrico

$$c \sim 3.10^8 \text{ m/s}$$

Luz !

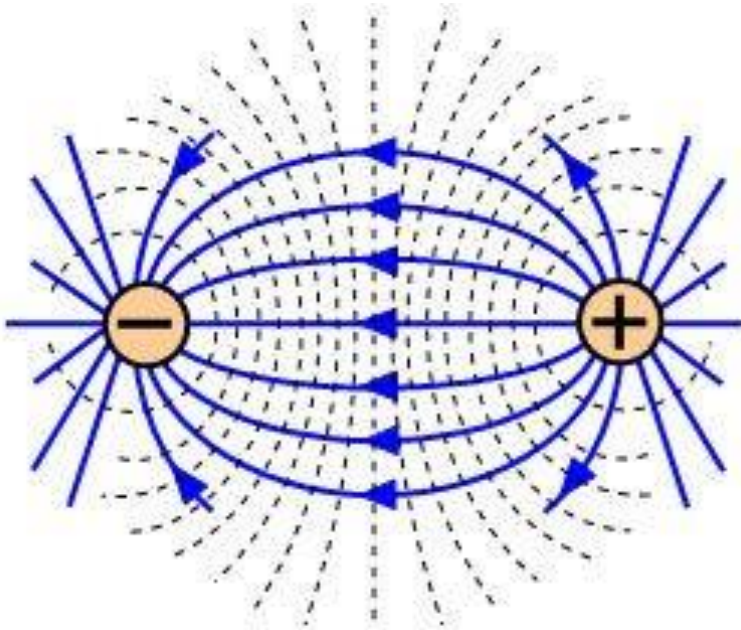
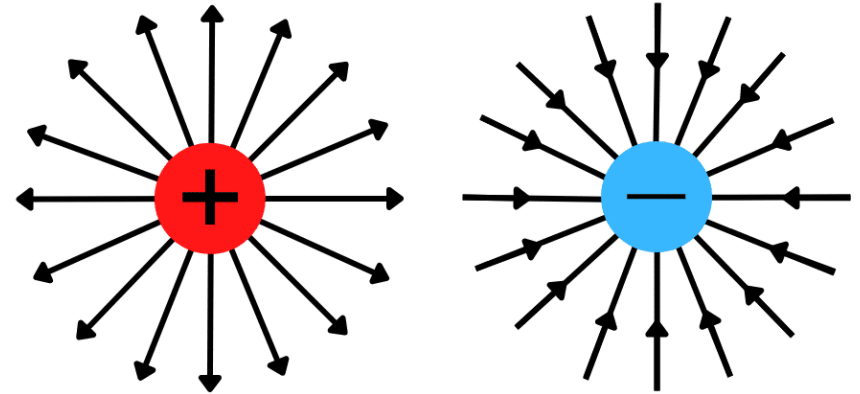
Meio	Velocidade da luz (m/s)
Ar (1 atm)	299 702 547
Gelo (0°C)	228 849 204
Água (20°C)	225 407 863
Álcool Etílico	220 435 631
Glicerina	203 940 448
Vidro	199 861 638
Quartzo	194 670 427
Diamante	123 881 180



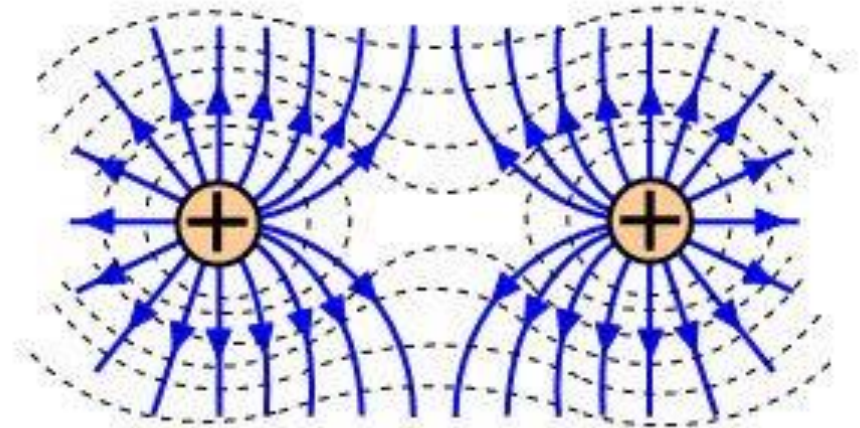
Campos Elétricos

Fontes de Campo Elétricos:

- Cargas elétricas
- Elétrons (-), Prótons (+), etc.
- Íons, ..



Opostos se atraem

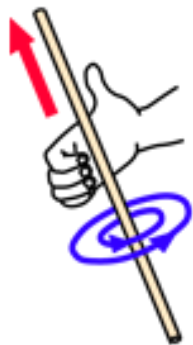
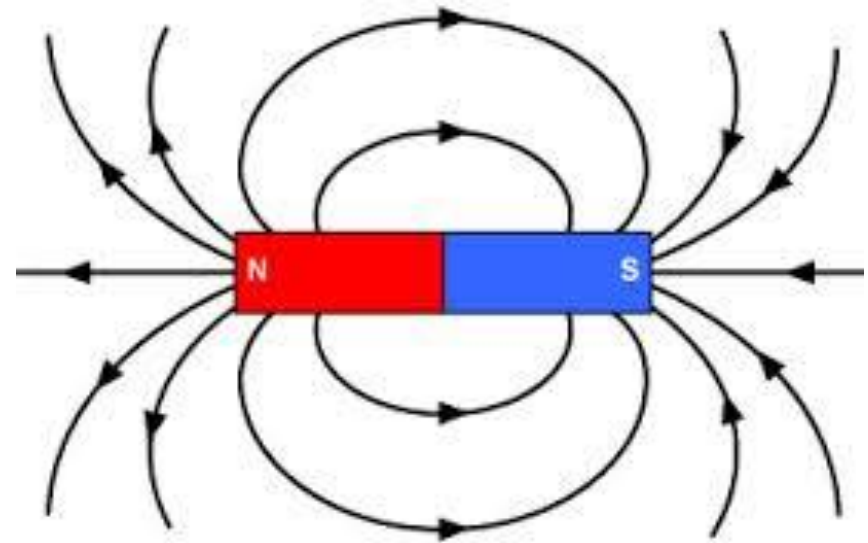


Cargas iguais se repelem

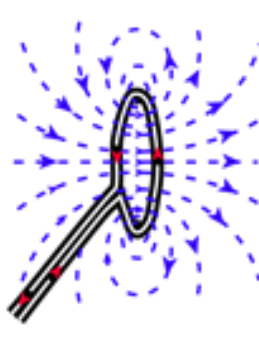
Campos Magnéticos

Fontes de Campo Magnéticos:

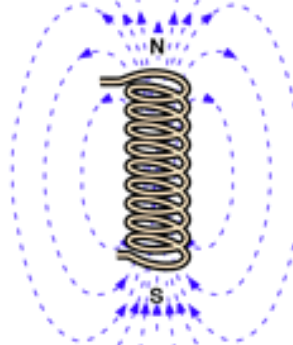
- Ímãs;
- Correntes elétricas;
- Variação de campo elétrico;



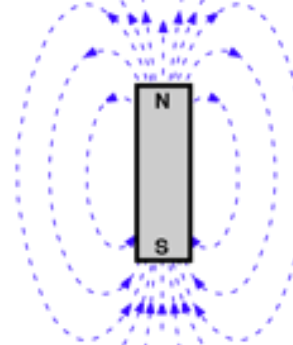
Current
in wire



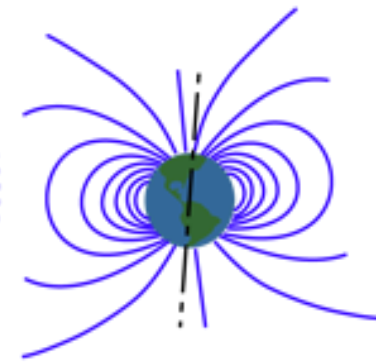
Loop of
wire



Solenoid



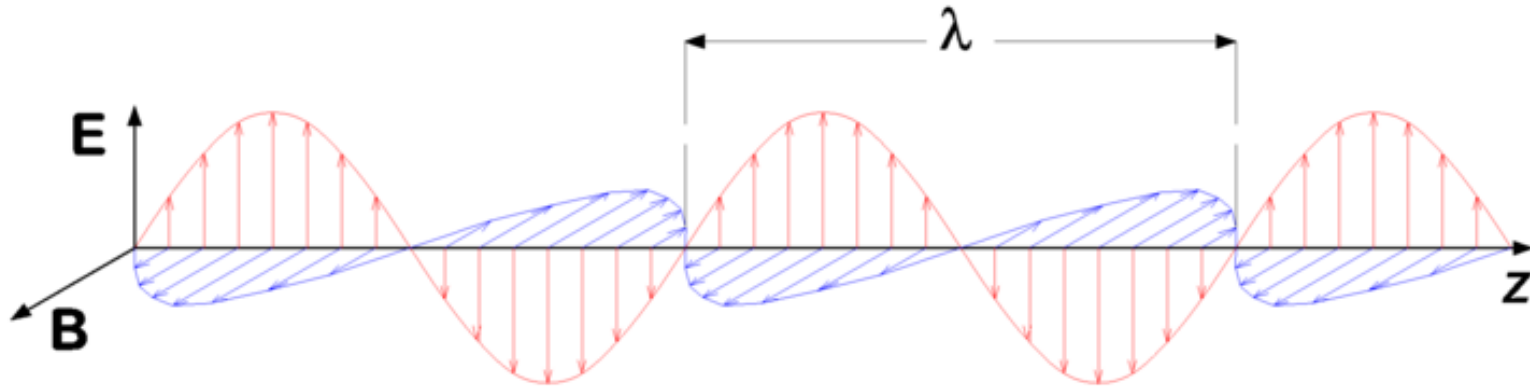
Bar Magnet



The Earth

Magnetic Field Sources

Velocidade da Onda Eletromagnética

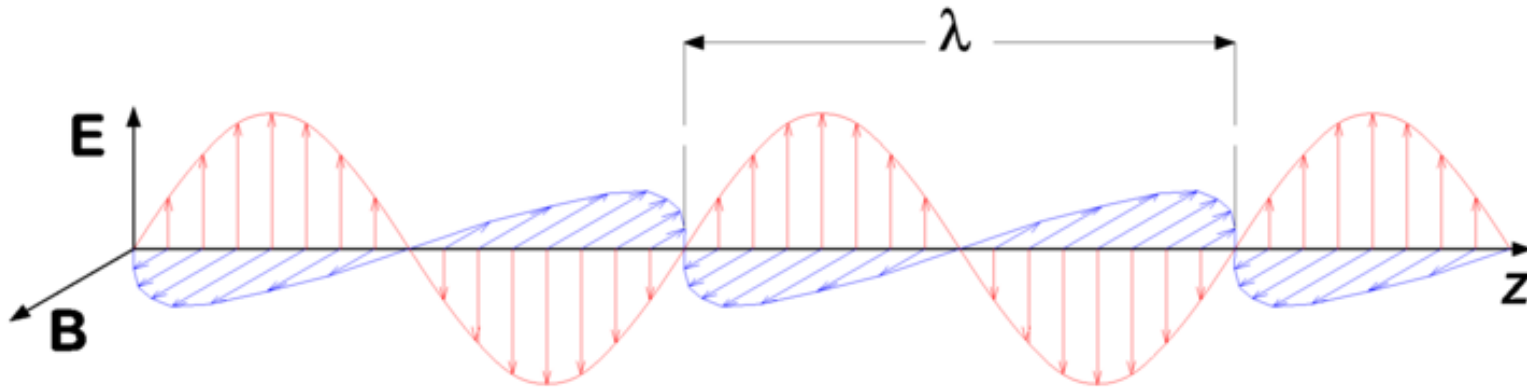


Velocidade (v) é igual ao comprimento de onda (λ) vezes a frequência (f) da onda eletromagnética:

$$v = \lambda \cdot f$$

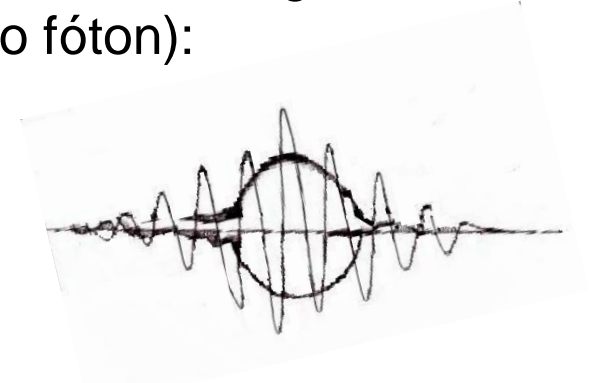
- Velocidade (v) é medido em metros/segundo [m/s]
- Comprimento de onda (λ) em metros [m]
- Frequência (f) é medido em 1/segundo = Hertz [Hz]

Energia da Onda Eletromagnética



A energia dos **fótons** (pacotes de energia) que a Onda Eletromagnética carrega, é calculado com a fórmula (Lei de Planck do fóton):

$$E = hf$$



- Energia de um fóton (E) é medido em Joules [J]
- h é a constante de Planck $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s, unidades: joules * segundos
- Frequência (f) é medido em 1/segundo = Hertz [Hz]

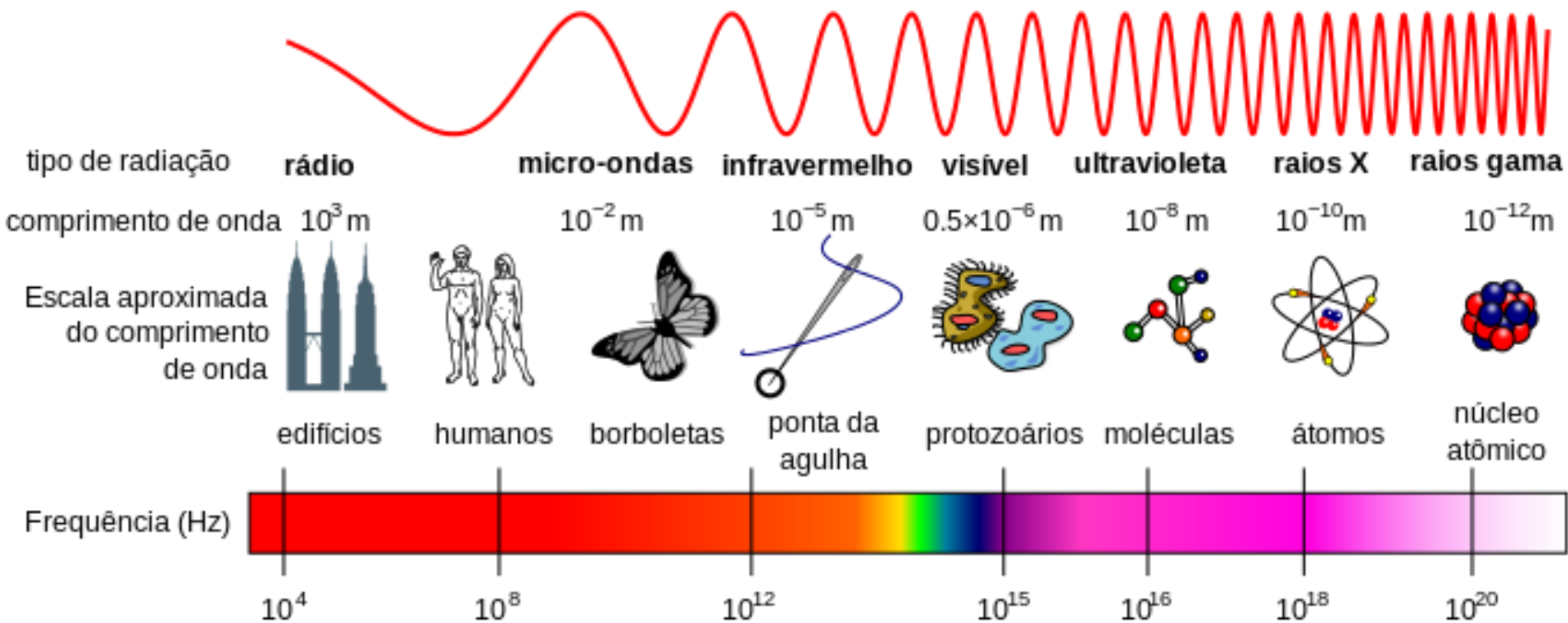
Energia da Onda Eletromagnética



A energia dos fótons (pacotes de energia) que a Onda Eletromagnética carrega, é calculado com a fórmula:

$$E = hf$$

O espectro eletromagnético



h = constante de Planck ($6,63 \times 10^{-34}$ J.s)

c = velocidade da luz no vácuo (3×10^8 m.s $^{-1}$)

λ = comprimento de onda (m)

f = frequência (Hertz = s $^{-1}$)

$$v = \lambda \cdot f$$

$$E = hf$$

Exemplo:

Selecionando apenas uma frequência..

Amarelo tem frequência de $\sim 520 \cdot 10^{12}$ Hz, qual o comprimento de onda?

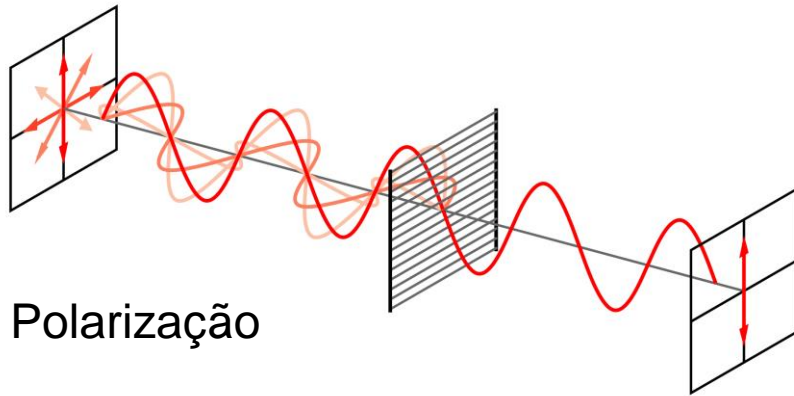
R: ~ 577 nm

$$v = \lambda \cdot f$$

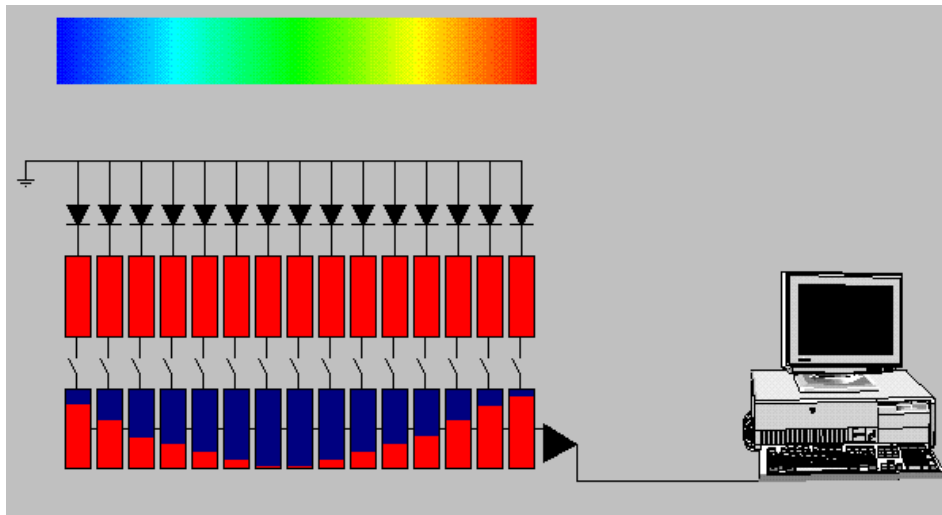


Mais precisamente a velocidade da luz no vácuo é $v = c = 299\,792\,458$ m/s

Aplicações



Fibra optica

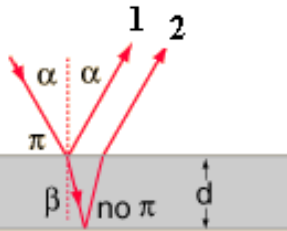


Detector CCD

- Interferência
- Difração
- Refração
- Polarização..

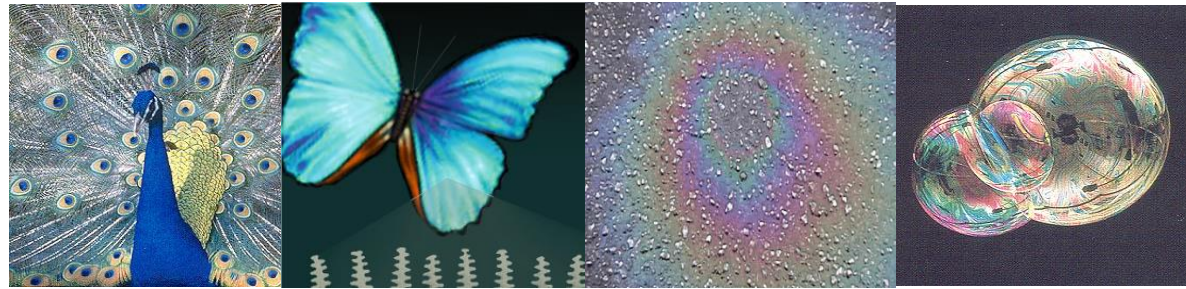
Interferência e Difração

Interferência em Filmes finos

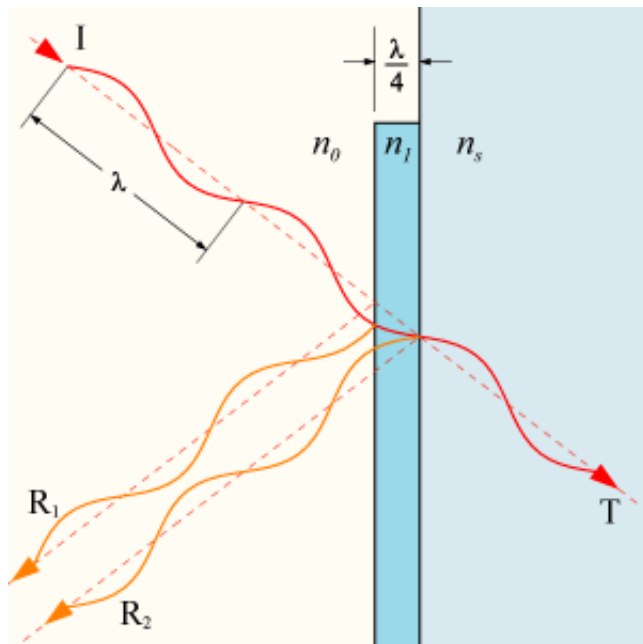


Interferência
construtiva ou
destrutiva

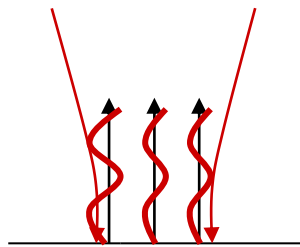
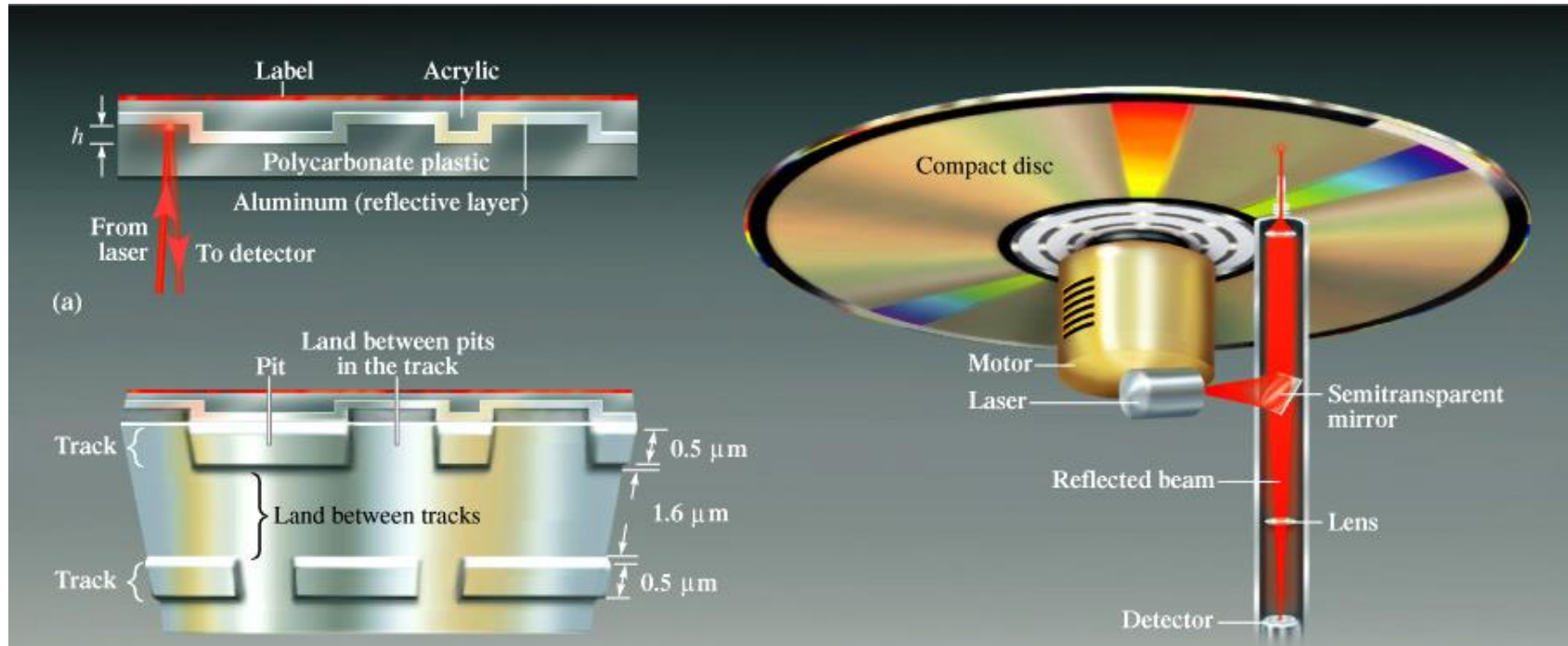
Cor estrutural:



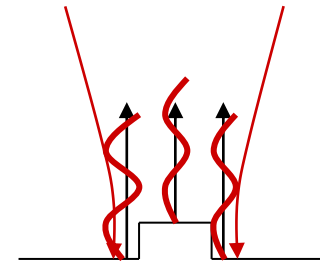
Aplicação: Filtros ópticos



Leitor de CD/DVD

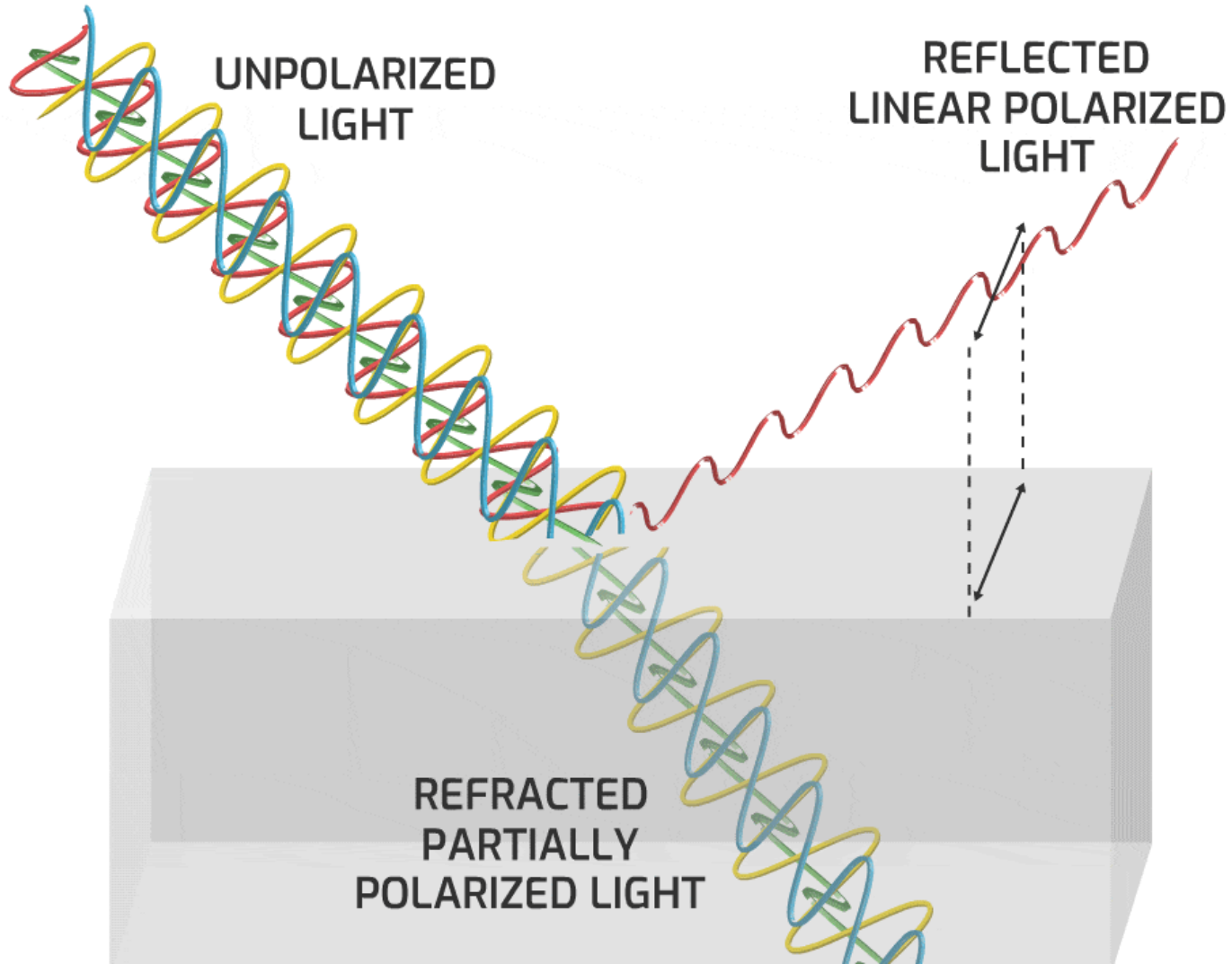


Vale : interferência construtiva

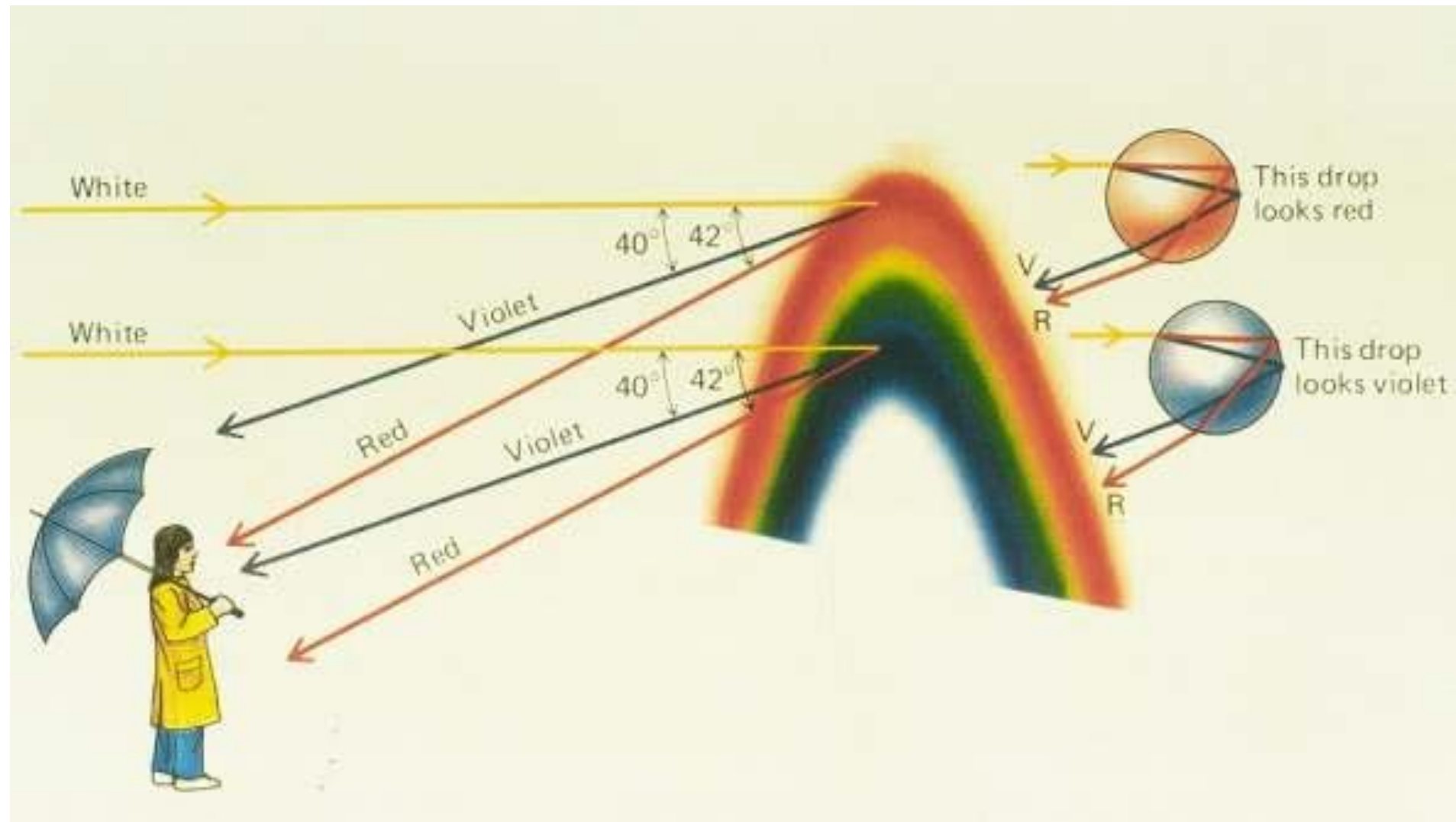


platô: interferência destrutiva

Propiedades



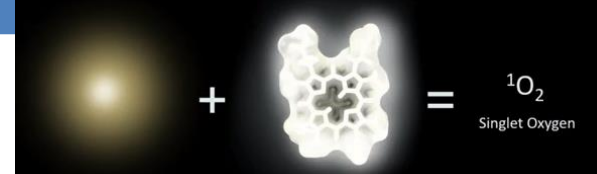
Arco íris



Terapia Fotodinâmica

Terapia Fotodinâmica (TFD)

<https://www.youtube.com/watch?v=BX4m2rkSYwA>



Jornal do INCA
2016

ciência

TERAPIA FOTODINÂMICA DESENVOLVIDA NO BRASIL TRATA COM SUCESSO
LESÕES PRÉ-MALIGNAS DO COLO DO ÚTERO

Tratamento iluminado



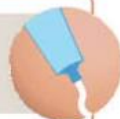
COMO FUNCIONA A TERAPIA FOTODINÂMICA

O tratamento das lesões de condiloma e NIC 1 acontece em ambulatório, não exige anestesia e não gera dor. A técnica já é estabelecida nos Estados Unidos e em alguns países da Europa.

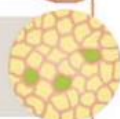
O equipamento, chamado CerCa 150 System, o protocolo clínico e o creme utilizados neste estudo foram desenvolvidos integralmente no Brasil.

O CerCa 150 System já possui certificação da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) e foi patenteado internacionalmente. O creme encontra-se em fase de aprovação para tratamento do câncer de pele do tipo não melanoma. Até o momento, a licença para uso ginecológico foi concedida apenas para pesquisas clínicas.

1 Na região afetada pela lesão, é aplicado um creme que contém a substância aminolevulinato de metila (MAL-PDTPharma).



2 Ao entrar em contato com as células do organismo, ela é convertida em outra substância fotossensibilizadora, a protoporfirina IX.



3 Antes de iniciar o tratamento com LED, o profissional verifica se o creme foi aplicado com precisão no local lesionado. Para isso, é utilizada uma ponteira de laser, que faz parte do equipamento.



4 Após a confirmação de que a aplicação do creme foi adequada, o local é iluminado com a ponteira de LED, que induz a geração de espécies reativas de oxigênio, responsáveis por destruir as células lesionadas.



18 REDE CÂNCER | EDIÇÃO 35 | OUTUBRO 2016



PRÊMIO
MARCOS
MORAES



IFSE

USP



Exemplo

A luz amarela emitida por uma lâmpada de vapor de sódio usada para a iluminação pública tem um comprimento de onda de 589 nm. a) Qual é a frequência dessa radiação?

$$v = \lambda \cdot f$$

Velocidade da luz $c = 3 \cdot 10^8$ m/s

$\lambda = 589$ nm

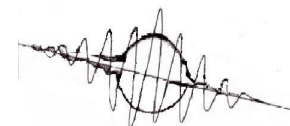
$$f = c / \lambda = 3 \cdot 10^8 / 589 \cdot 10^{-9}$$

$$f = 5,09 \cdot 10^{14} \text{ Hertz}$$



b) Qual a energia de um fóton dessa luz amarela? $E = hf$

$$E = (6,63 \times 10^{-34}) \cdot (5,09 \cdot 10^{14})$$



$$E = 3,37 \cdot 10^{-34} \text{ Joules}$$

Exemplo

Os fornos de microondas emitem radiação como frequência de 2,45 GHz. a) Calcule o comprimento de onda, em metros, dessa radiação. b) Quanto essa radiação é mais longa ou mais curta do que a radiação da cor laranja (625 nm)?

$$v = \lambda \cdot f$$

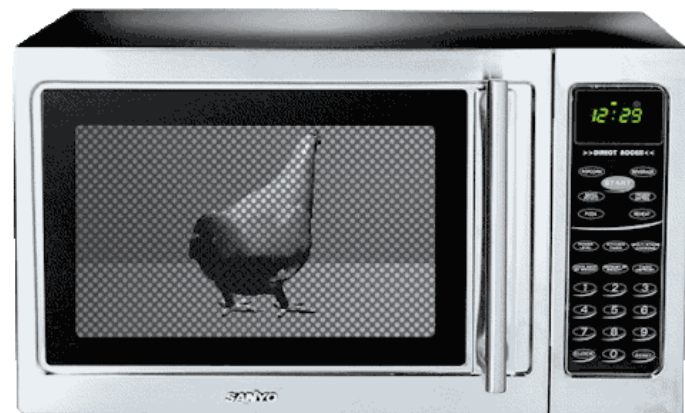
\downarrow
 $3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{2,45 \times 10^9} = 0,122 \text{ m}$$

Comparação dos Comprimentos de onda:

$$\frac{0,122}{6,25 \times 10^{-7}} = 195.000$$

Essa radiação é 195 mil vezes mais longa do que a da cor laranja



Exemplo

Exercício: Calcule a energia (em joules) de um fóton de comprimento de onda 5.10^{-4} nm (raios gama) e um fóton de comprimento de onda de 5.10^{-2} nm (raios-X).

Lembre: $h = 6,63 \times 10^{-34}$ j.s e a velocidade da luz no vácuo $v = c = 3 \cdot 10^8$ m/s

$$v = \lambda \cdot f$$

$$E_{\text{fóton}} = hf \rightarrow \text{Energia do fóton}$$

Raios Gama

$$E = h \frac{c}{\lambda} = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{5,00 \times 10^{-4} \times 10^{-9}} = 3,98 \times 10^{-13} \text{ J}$$

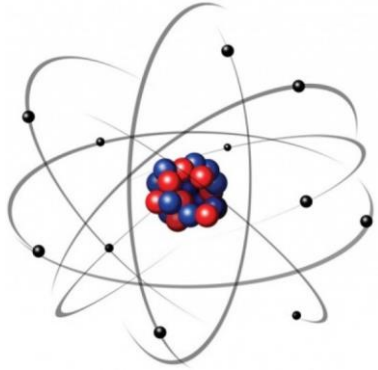
Raios X

$$E = h \frac{c}{\lambda} = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{5,00 \times 10^{-2} \times 10^{-9}} = 3,98 \times 10^{-15} \text{ J}$$

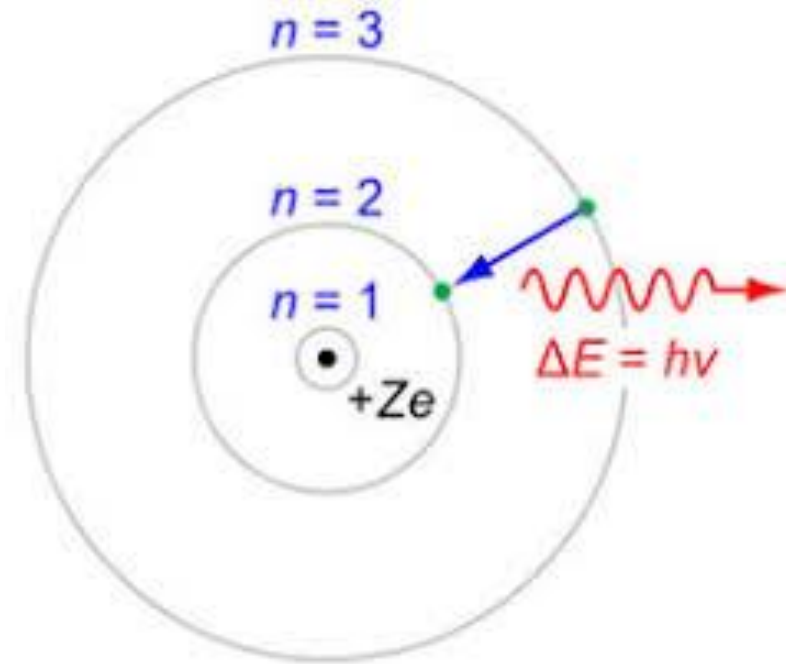
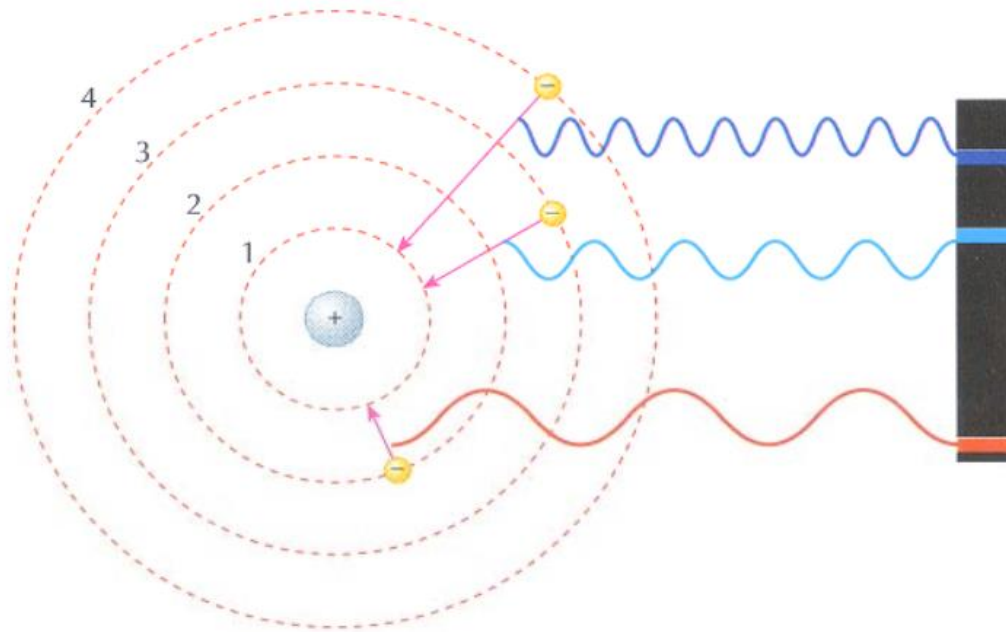
Interação da Radiação Eletromagnética e os átomos

(leia cap. 3 que está no e-disciplinas)

Emissão e Absorção de ondas eletromagnéticas



Os **átomos** absorvem ou emitem radiação eletromagnética, de acordo com os níveis de energia dos elétrons..



Emissão e Absorção de ondas eletromagnéticas

Os **átomos** (ou moléculas) absorvem ou emitem radiação eletromagnética, de acordo com os níveis de energia dos elétrons..

Por isso, quando queimam, cada material libera uma cor diferente (frequência de onda eletromagnética diferente)



Emissão e Absorção de ondas eletromagnéticas

Fogos



Meteoros



Emissão e Absorção de ondas eletromagnéticas

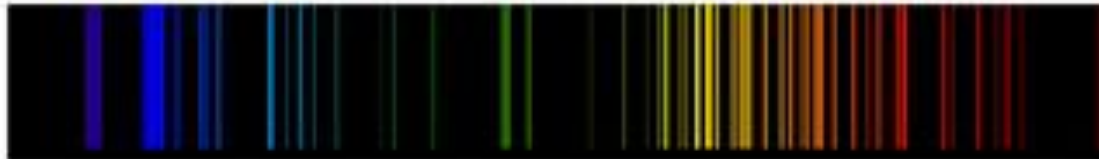
Cada material não emite uma única cor, na verdade emite um espectro bem definido:



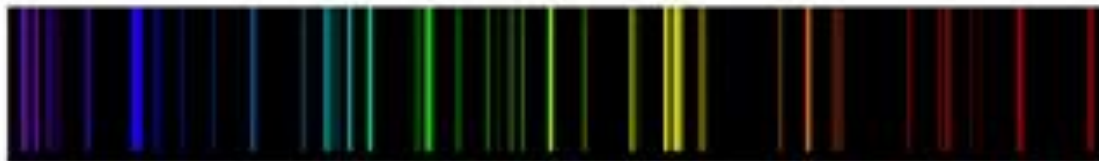
Hidrogênio



Hélio



Neônio



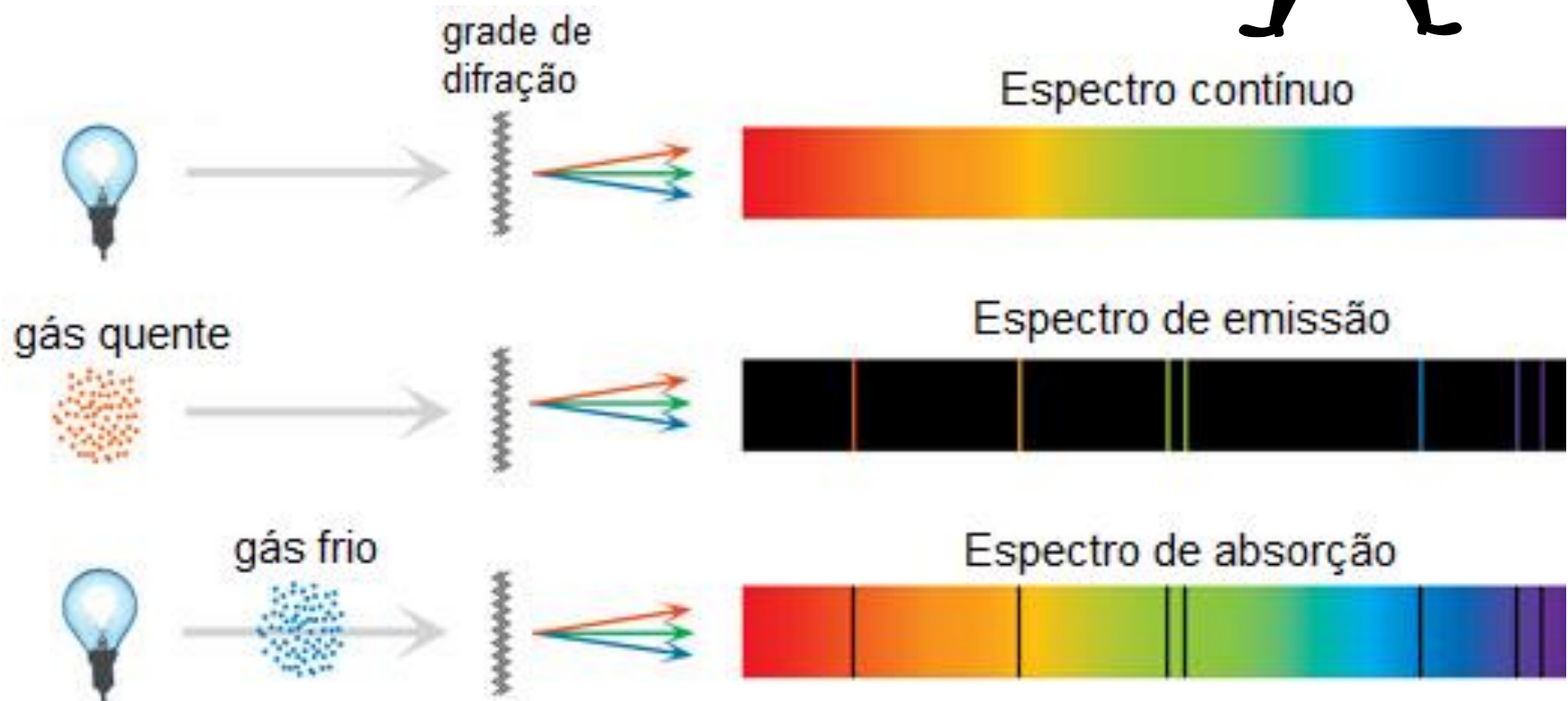
Mercúrio

Espectroscopia



✧ Como saber qual material é?

Espectro é único para cada material = impressão digital

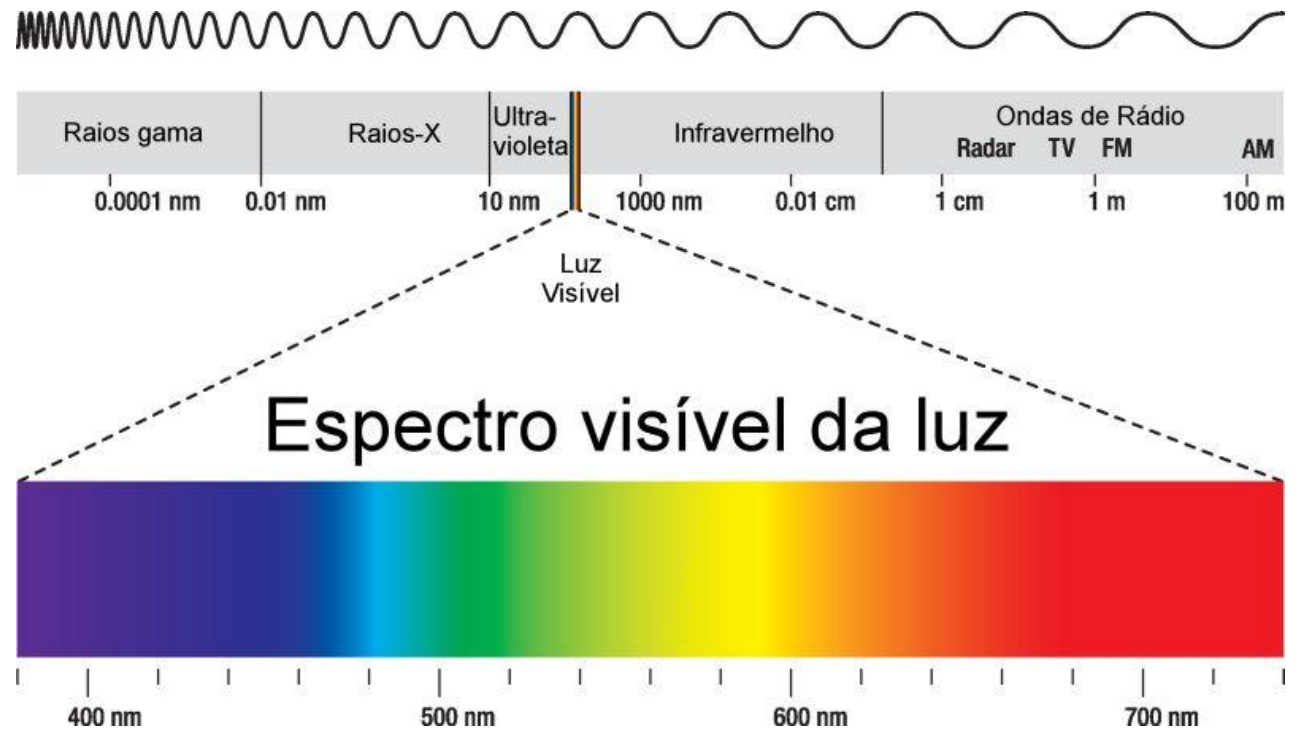


e vamos falar do mais importante:
Radiação Térmica....

Radiação térmica



Infravermelho



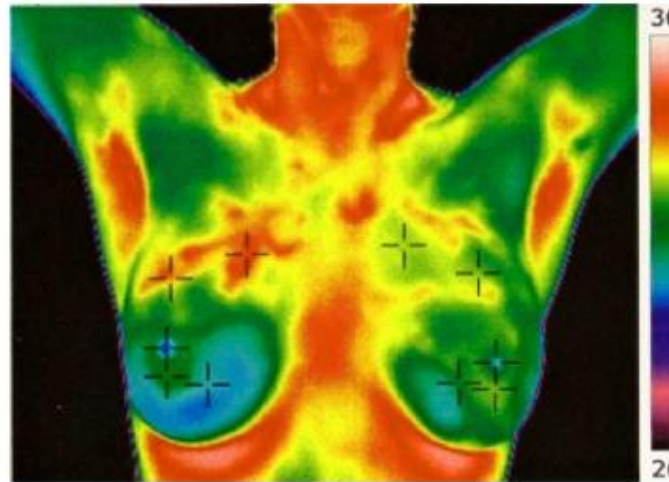
Radiação térmica



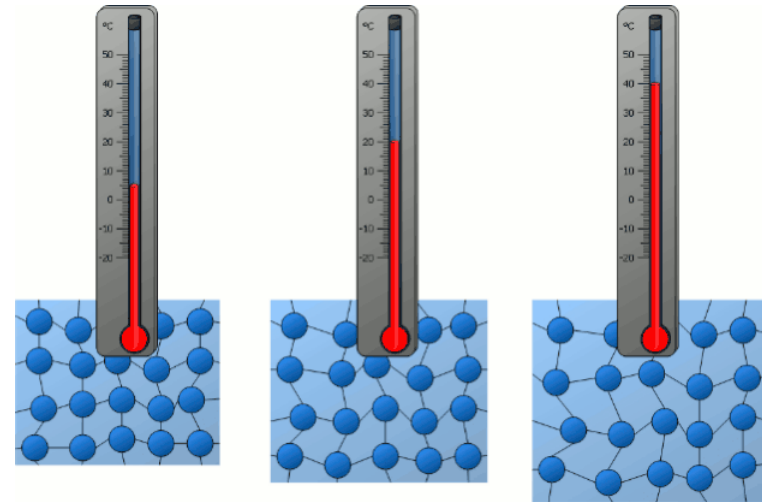
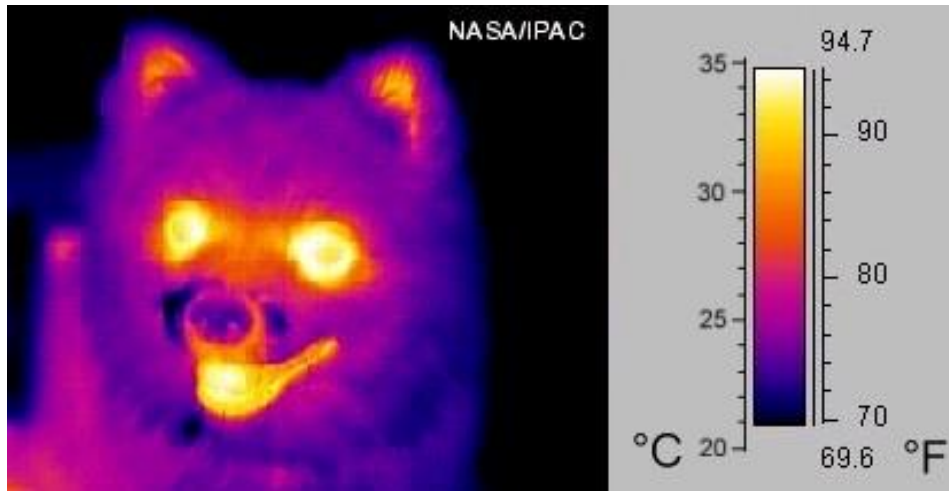
Termômetro de infravermelho



Câmera térmica



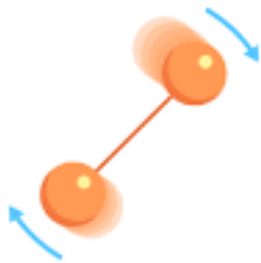
Radiação térmica



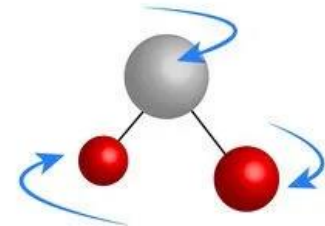
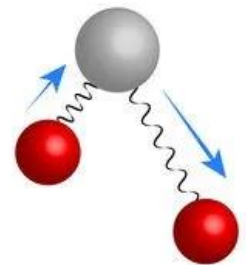
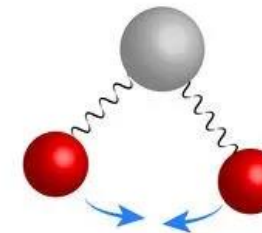
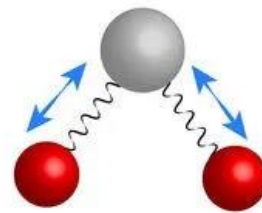
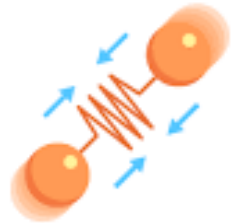
Translação



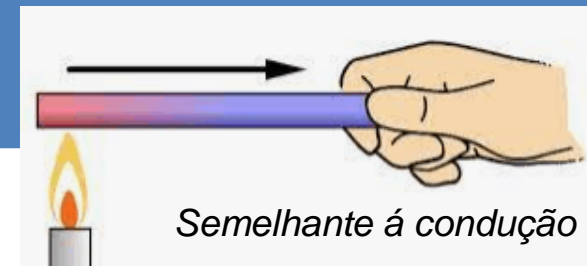
Rotação



Vibração



Fluxo de energia pela radiação



➤ Fluxo de Calor radiante (ϕ)

→ calor em movimento por radiação.. Calor (energia) por unidade de tempo:

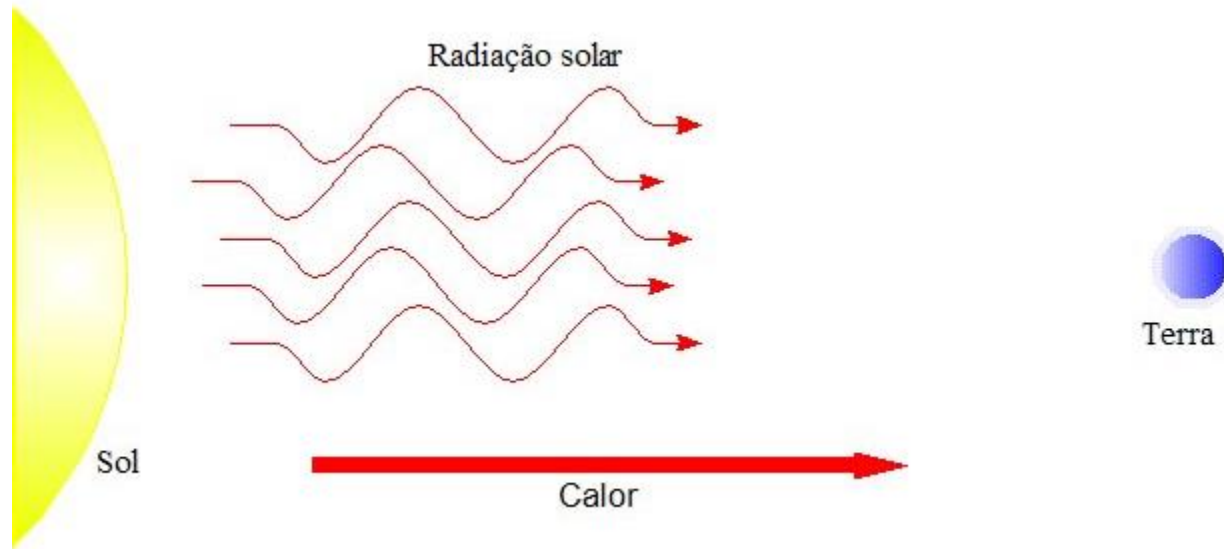
$$\Phi \rightarrow \left[\frac{\text{Energia}}{\text{Tempo}} \right]$$

Unidades:

$$\left[\frac{\text{Joules}}{s} \right]$$

$$\left[\frac{\text{cal}}{s} \right]$$

[Watts]



Densidade de Fluxo de energia pela radiação

➤ Densidade de Fluxo de Calor radiante (q)

→ calor em movimento por área.. calor por unidade de tempo e área:

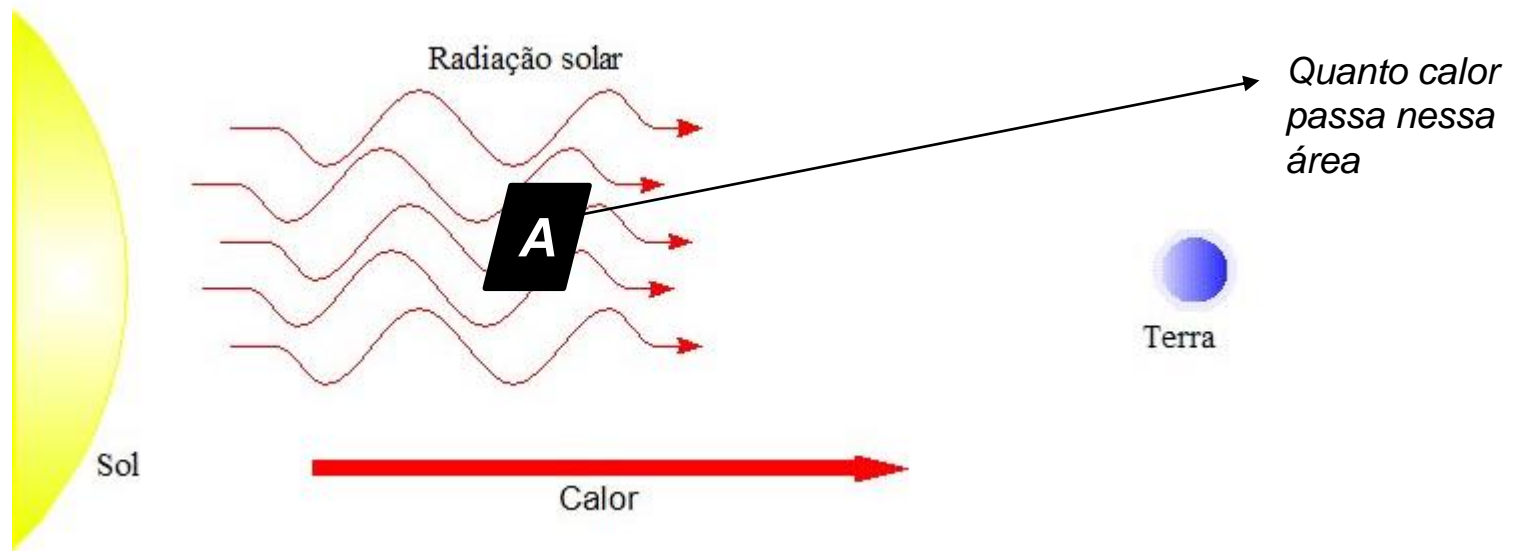
$$q = \frac{\Phi}{[\text{Área}]} \rightarrow \left[\frac{\text{Energia}}{\text{Tempo. Área}} \right]$$

Unidades:

$$\left[\frac{\text{Joule}}{\text{s. m}^2} \right]$$

$$\left[\frac{\text{cal}}{\text{s. m}^2} \right]$$

$$\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$



Emitância espectral

Emitância espectral: descreve quanta energia é emitida por área (m^2) e para cada comprimento de onda (λ)

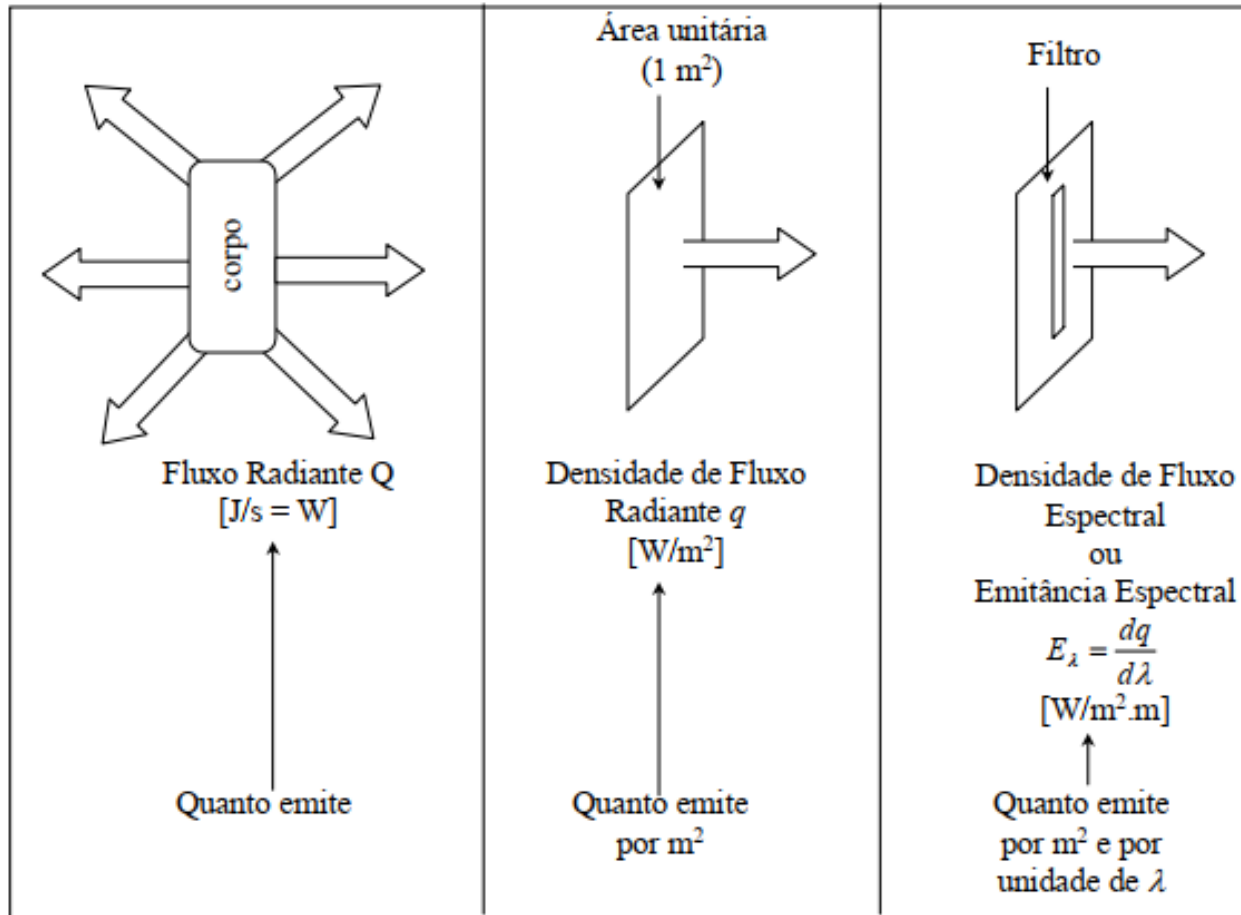


Figura 3.6 - Fluxo radiante, densidade de fluxo radiante e emitância espectral.

Emitância espectral

Observa-se, nessa figura, que a **emitância espectral** é maior para o corpo mais quente, para qualquer comprimento de onda. Além disso, verifica-se que a emissão máxima ocorre para um comprimento de onda menor (500 nm) do que quando a temperatura for maior (644 nm). O valor de máxima emissão ocorre no ponto de máximo do gráfico. A Lei de Wien descreve isso.

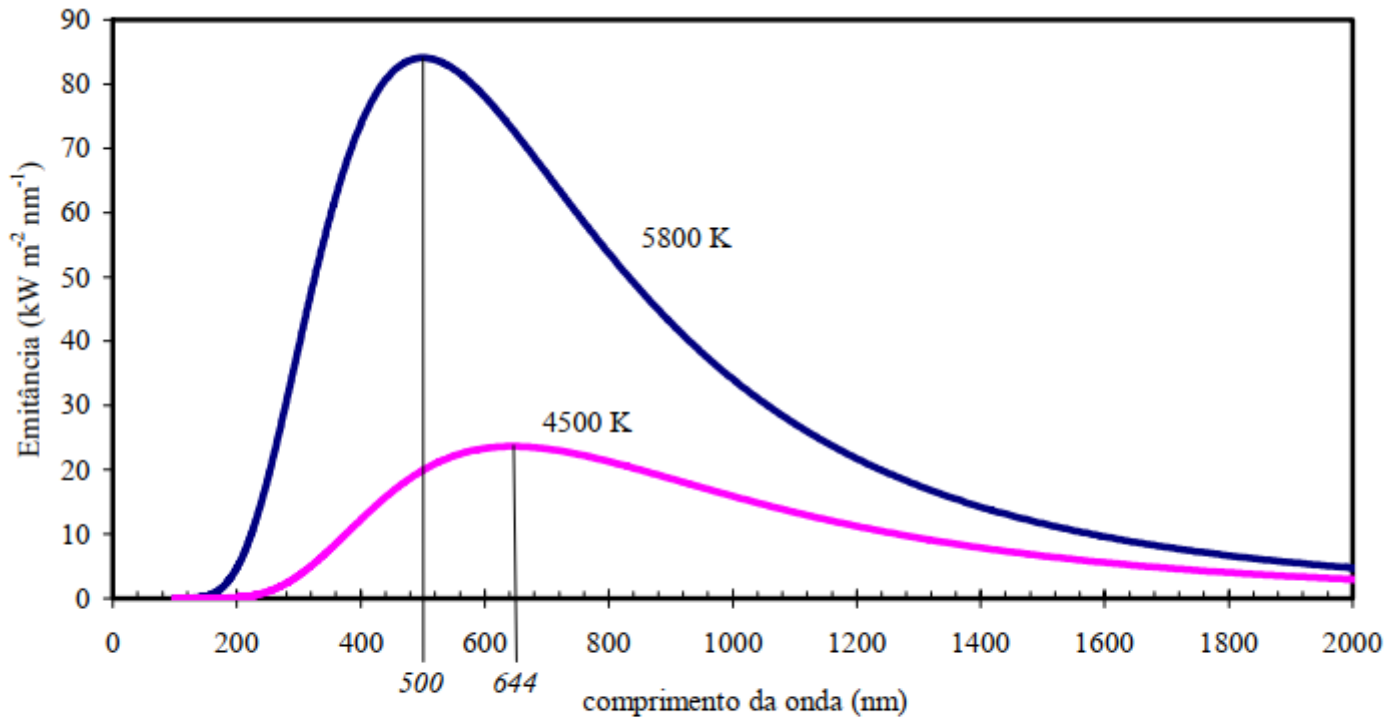


Figura 3.7 - Emitância de um corpo a 5800 K (temperatura da superfície do Sol) e outro a 4500 K

Emitância espectral

Se quisermos representar os espectros de *emissão do Sol*, a 5800 K, e *da Terra*, a 288 K, num só gráfico, temos que adotar escalas logarítmicas para compensar pela enorme diferença de energia emitida pelos dois corpos. No seu comprimento de onda de máxima emissão (500 nm = 0,5 μm), o Sol emite em torno de 100 MW $\text{m}^{-2} \text{mm}^{-1}$. A Terra, no seu máximo (10 000 nm = 10 μm) emite algo como 0,00001 MW $\text{m}^{-2} \text{mm}^{-1}$

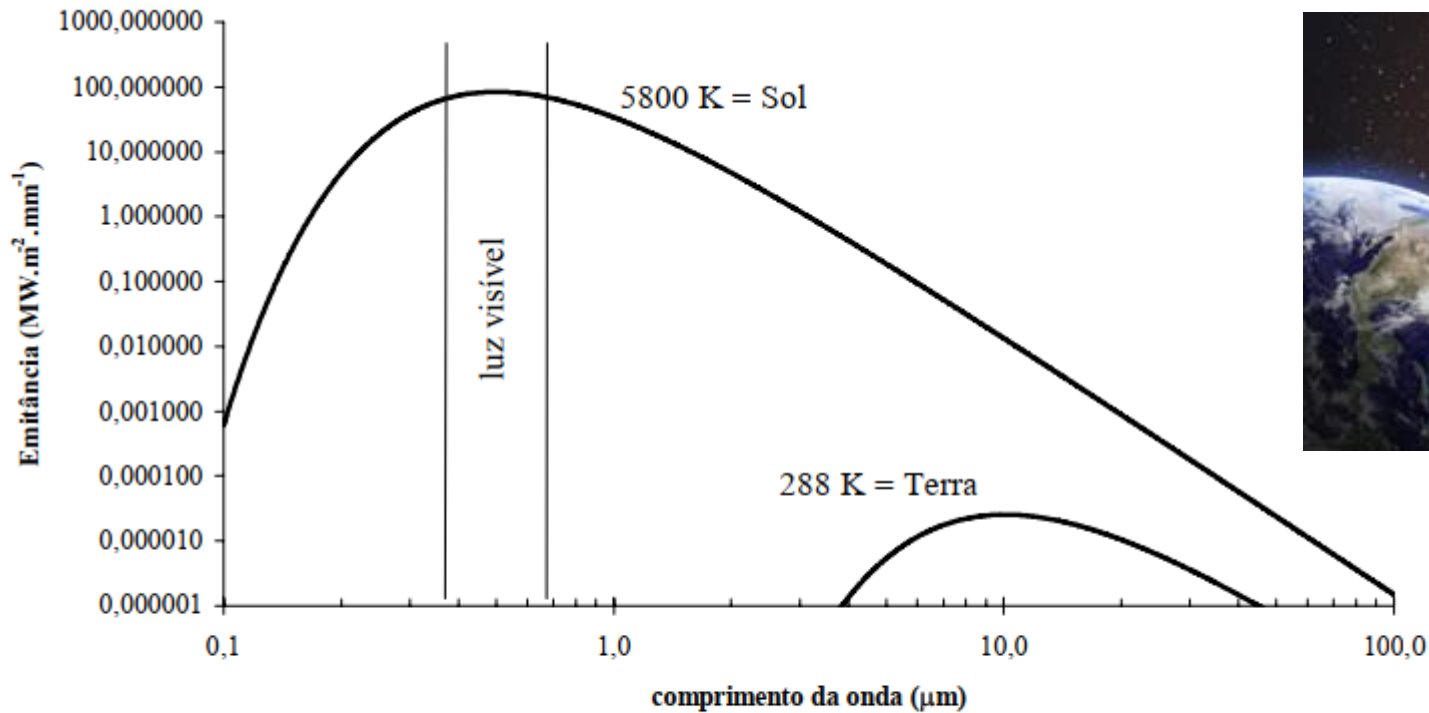
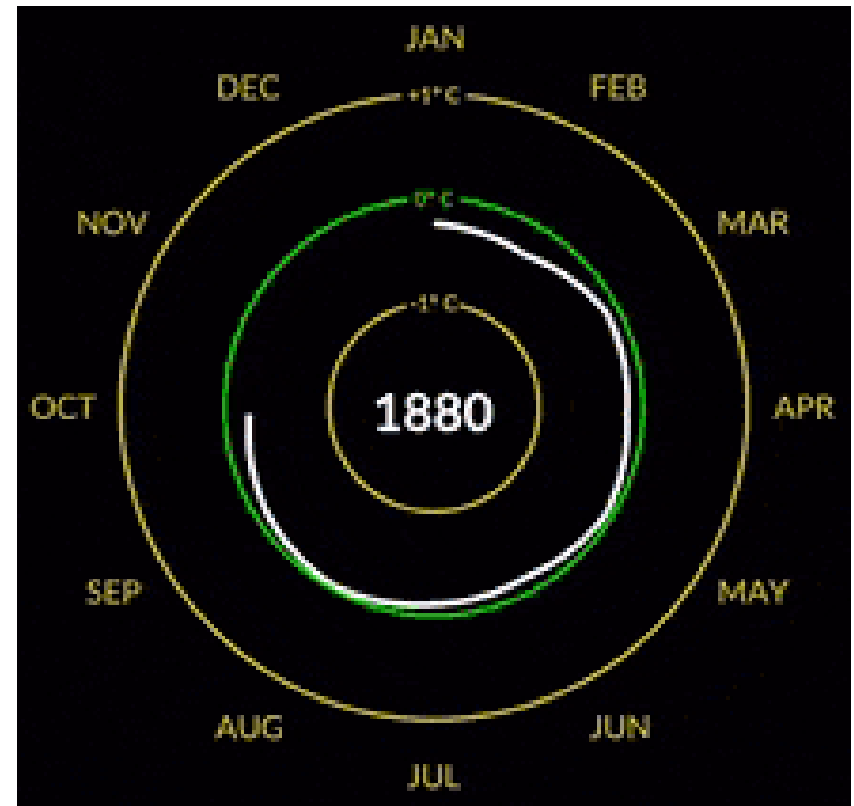
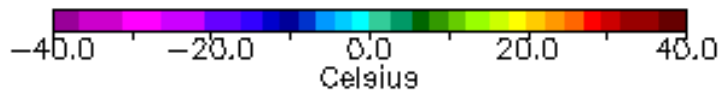
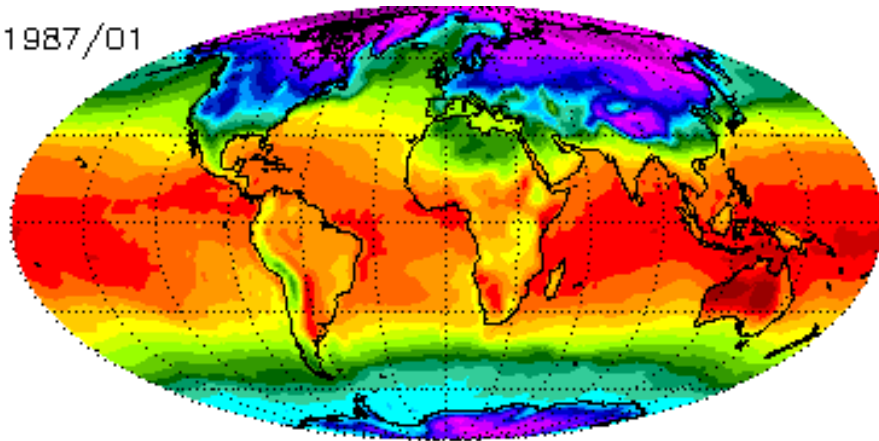


Figura 3.8 - Emitância de um corpo a 5800 K (temperatura da superfície do Sol) e outro a 288 K (temperatura média da superfície da Terra)

1987/01



*Aquecimento Global
Causa? Ação humana ou natural?*

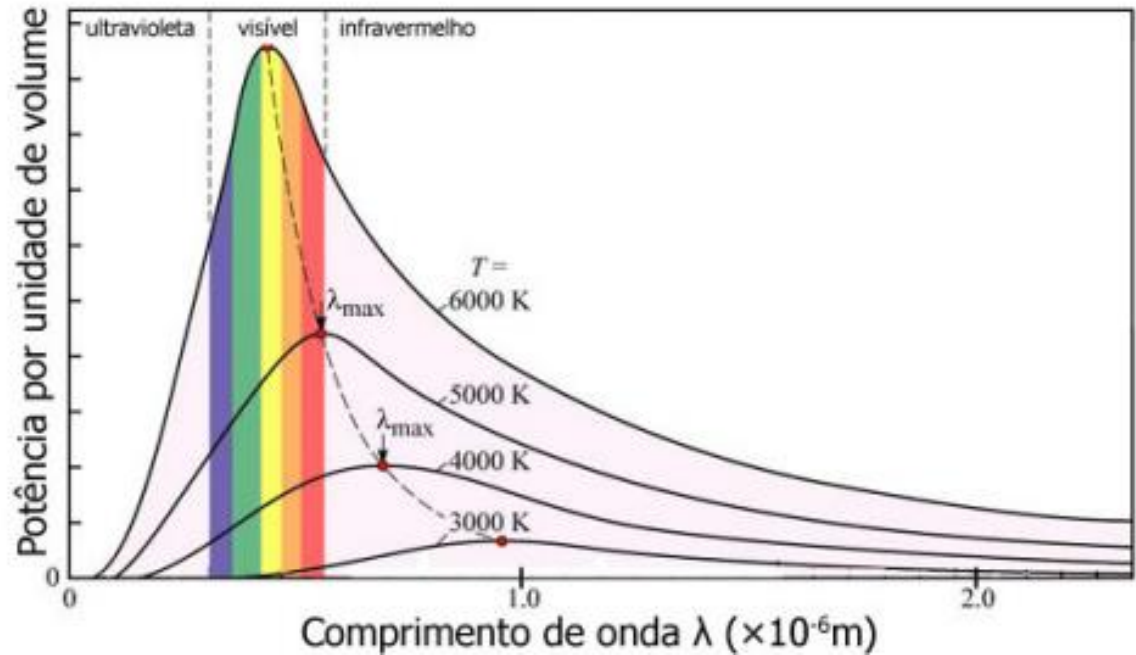
Lei de Stefan-Boltzmann

Todos os corpos emitem radiação e quanto maior sua temperatura, mais emitem. Isso é descrito pela Lei de Stefan-Boltzmann, que diz que um corpo negro (irradiador perfeito de radiação térmica) emite energia da forma:

Unidades:

[W / m²]

$$q = \varepsilon \sigma T^4$$



T - temperatura do corpo [Kelvin]

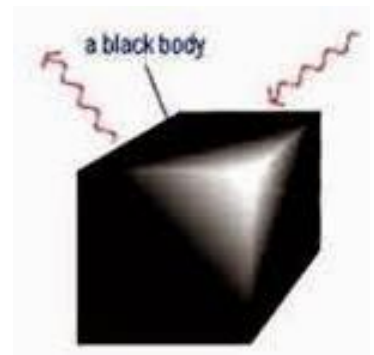
σ constante de Stefan-Boltzmann, unidades: $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \right]$

ε emissividade, depende da temperatura do corpo

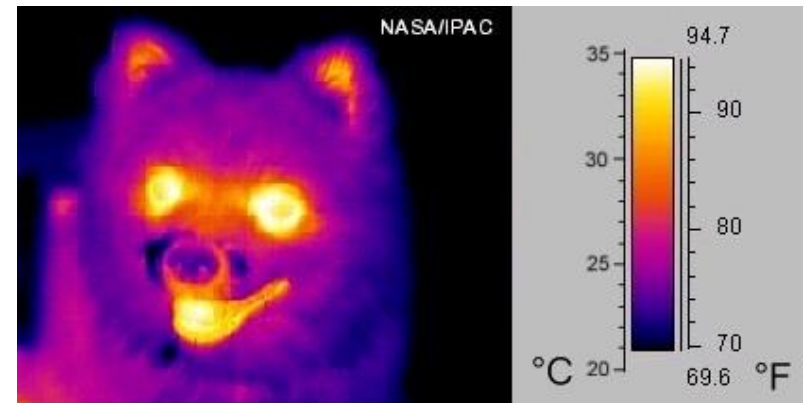
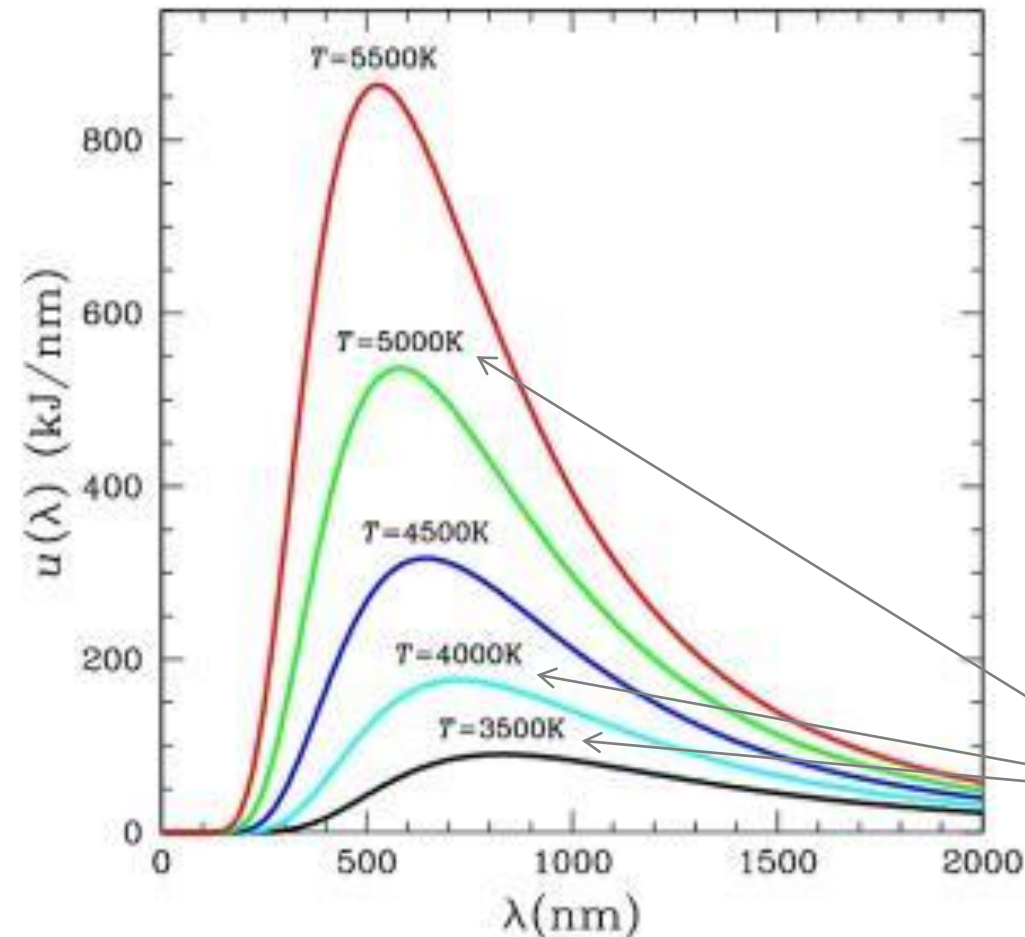
Para **corpo negro** $\varepsilon = 1$

Radiação de “Corpo Negro”

Acima da temperatura de zero Kelvin (nada está nessa temperatura) todos os corpos emitem radiação térmica. Isso é descrito pela Lei de Stefan-Boltzmann

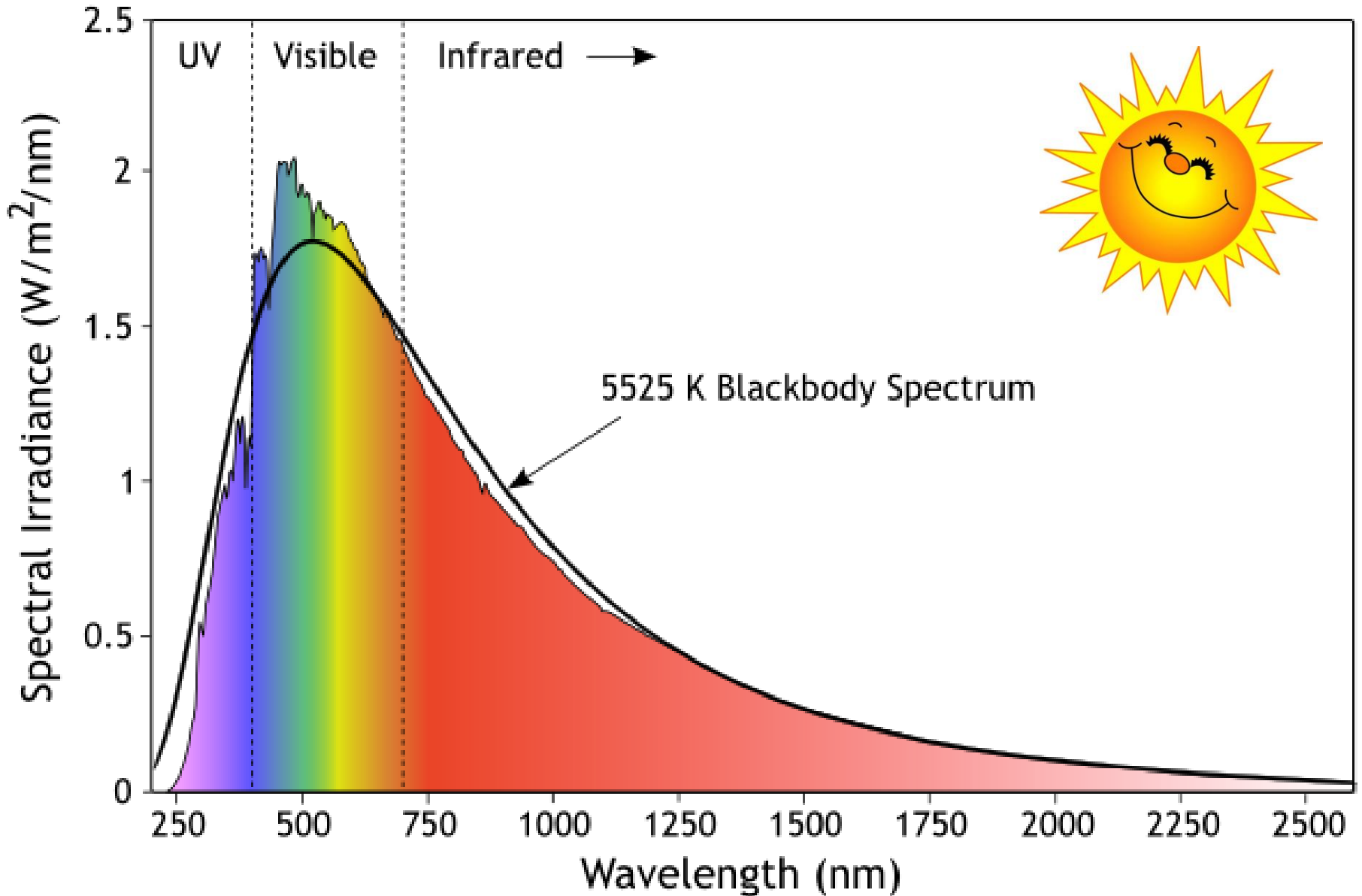


O **Corpo Negro** (Black Body) absorve toda a radiação incidente, e é capaz de emitir qualquer energia de fóton (ou: qualquer comprimento de onda de radiação)



Conforme a temperatura aumenta, o pico da radiação atinge menores comprimentos de onda.

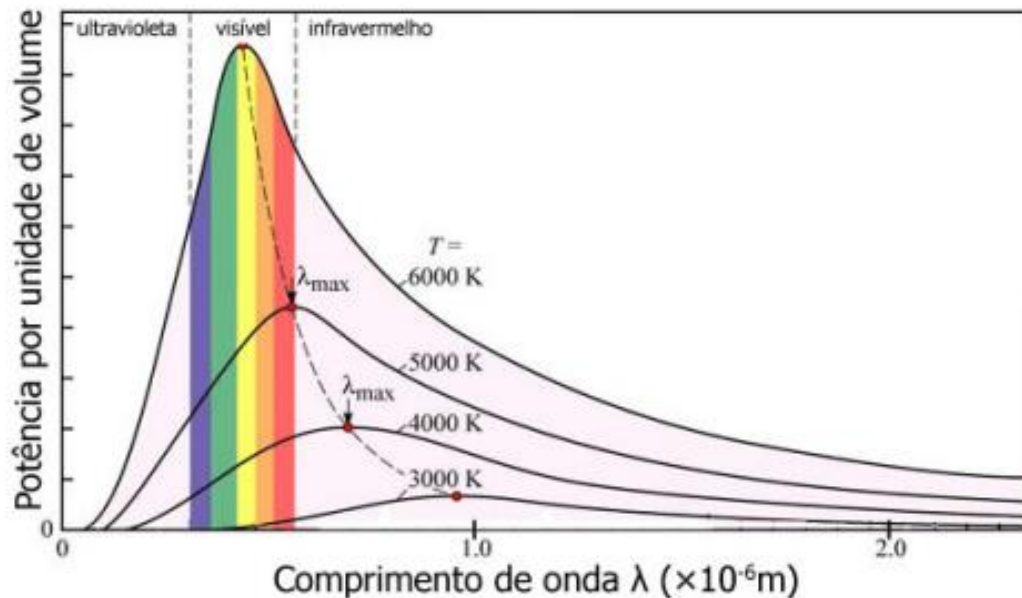
Espectro Solar



Lei de Wien

Wien descobriu que os pontos de máximo no gráfico são descritos pela equação:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$



onde λ_{\max} é o comprimento de onda (em metros) para o qual a intensidade da radiação eletromagnética emitida é máxima. T é a temperatura do corpo em kelvins, e b é a constante de proporcionalidade, chamada constante de dispersão de Wien, em m.K (metro x Kelvin). O valor dessa constante é $b = 2,8977685 \cdot 10^{-3}$ m.K

Lei de Planck

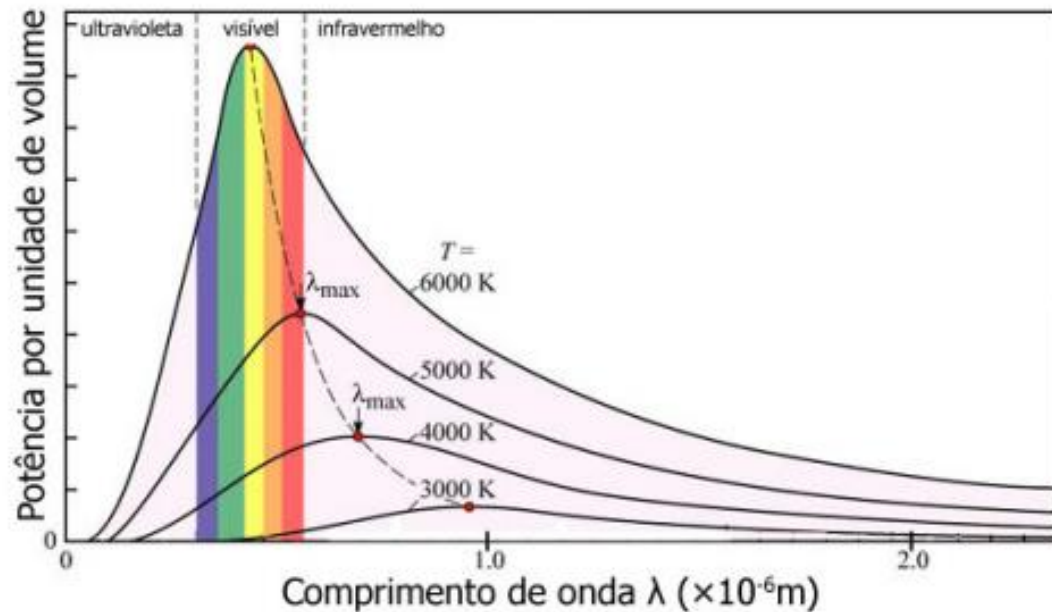


Max Planck
1858 -1947
Nobel Prize in Physics 1918

$$E = hf$$

Planck descobriu a fórmula matemática completa que descreve o gráfico abaixo:

$$u(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{\left(e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1\right)}$$



Planck: $E = hf$ (Constante de Planck $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$)
 k constante de Boltzmann $\rightarrow k = 1,380649 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ Kg s}^{-2} \text{ K}^{-1}$

Resumo: Emissão térmica do Corpo Negro

*Lei de Planck da
Radiação Térmica*

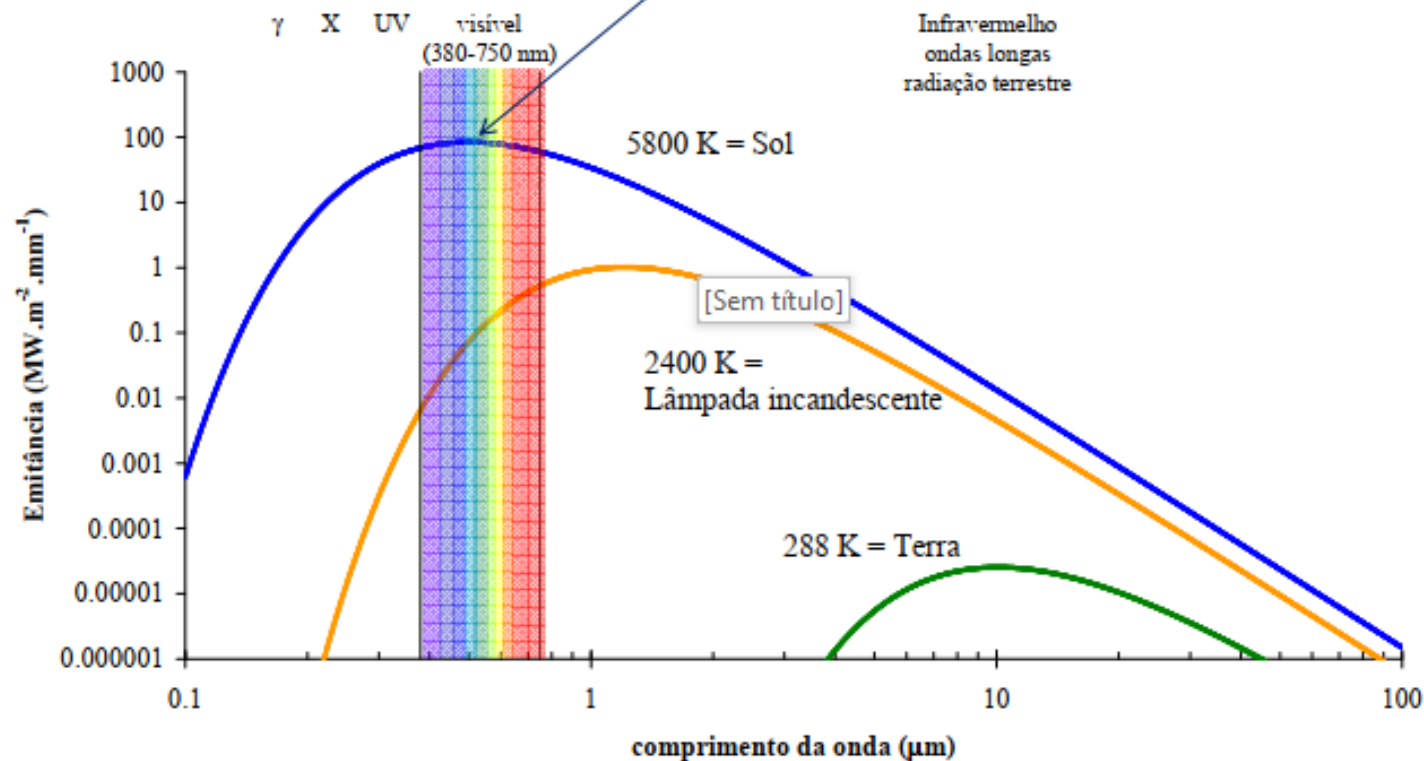
$$E_{\lambda} = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kt} - 1}$$

Lei de Wien

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

*Lei de Stefan-
Boltzmann*

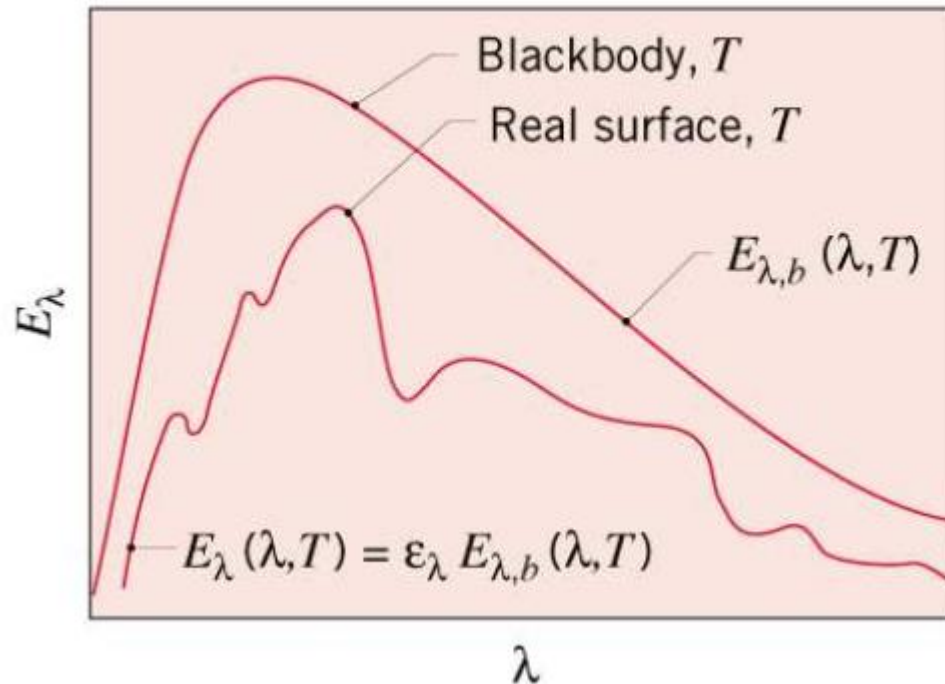
$$q = \sigma T^4$$



Emissividade

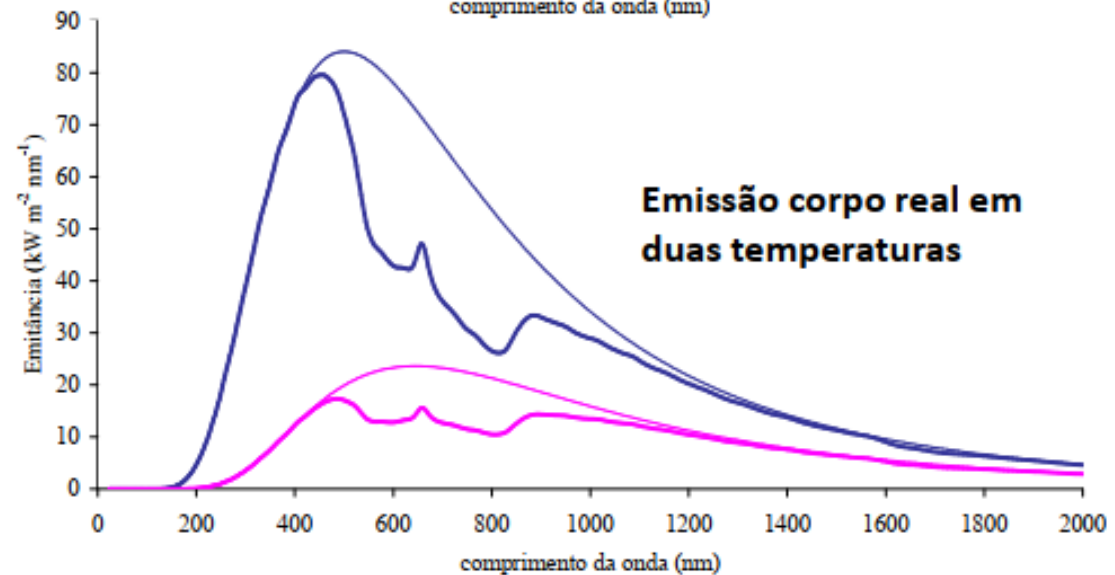
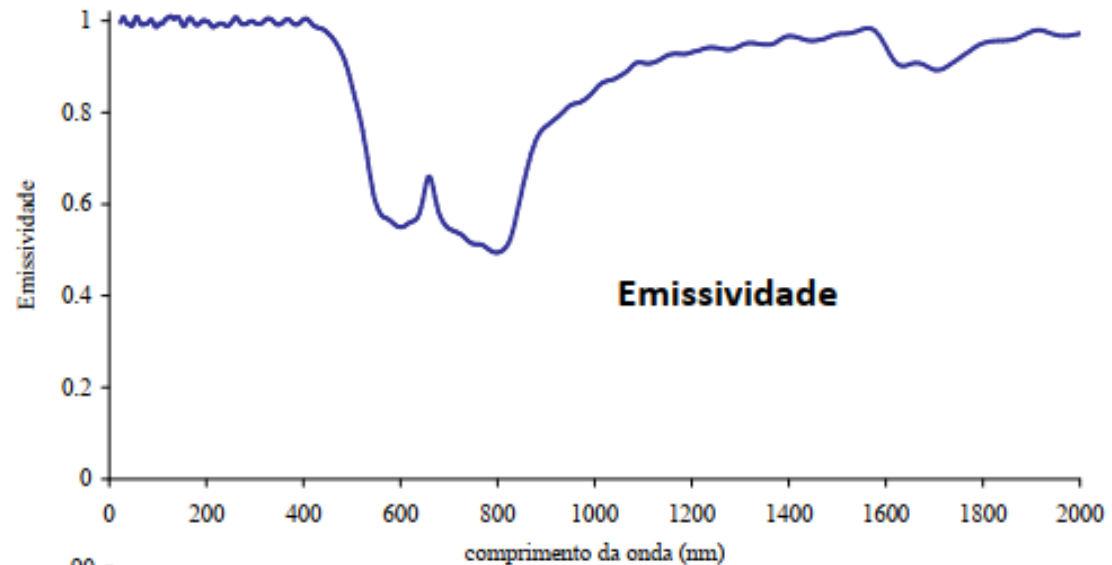
Na prática, um objeto real emite menos que o objeto idealizado que chamamos de “corpo negro”, logo os gráficos de experimentos evidenciam essas diferenças, devido a variação na emissividade dos corpos

$$E_{\lambda, \text{corpo real}} = \epsilon_{\lambda} \cdot E_{\lambda, \text{corpo negro}} \quad ; 0 \leq \epsilon_{\lambda} \leq 1$$



Emissividade

... o corpo real apresentará uma emissão reduzida naqueles comprimentos de onda onde sua emissividade é menor do que 1.



Emissividade

Emissividade reflete a facilidade que determinada superfície tem em emitir fótons de determinado comprimento de onda, ela independe da temperatura do corpo, sendo apenas função da natureza da superfície.

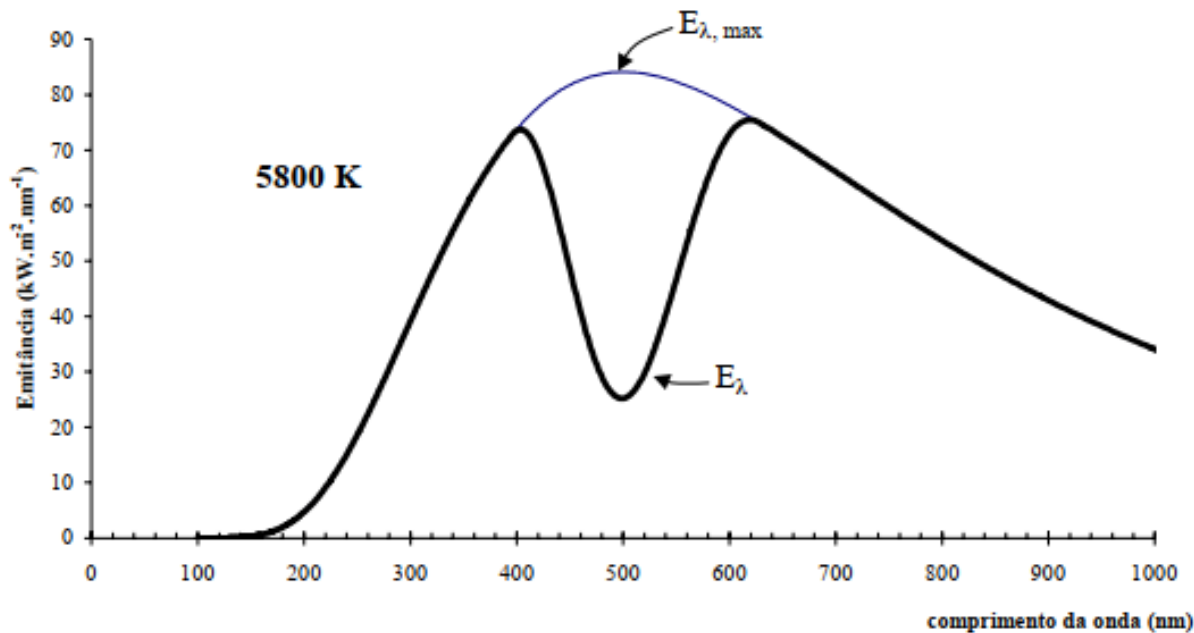


Figura 3.9 - Espectro de emissão para um corpo à temperatura de 5800 K. A linha grossa representa a emissão real, que está reduzida na faixa de 400 a 630 nm. A linha fina representa a emissão pela equação de Planck

Emissividade de corpos reais

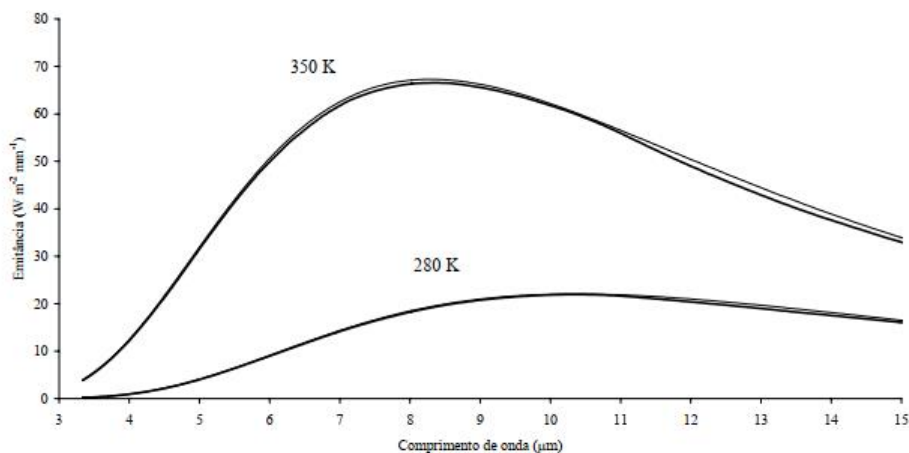


Figura 3.14 - Emissividade e Emitância de uma superfície de neve a 280 K e 350 K (dados da Modis Emissivity Library, University of Santa Barbara, Califórnia)

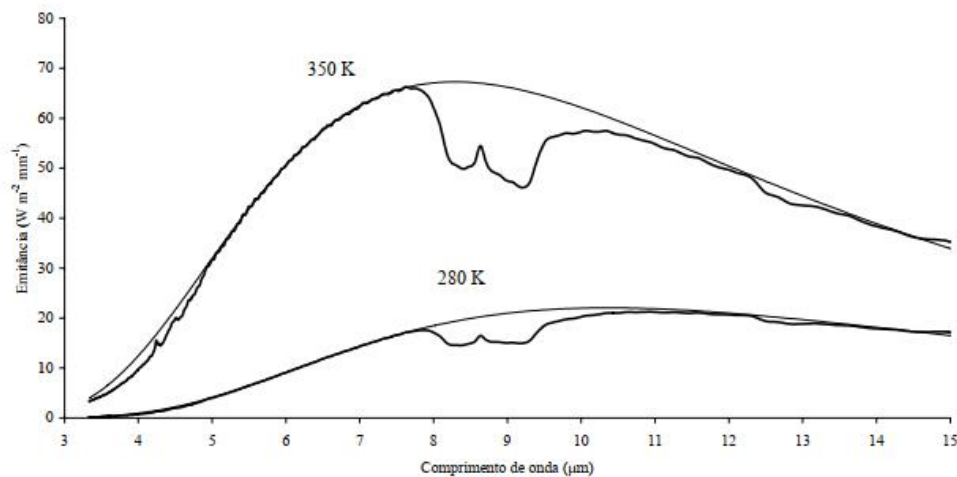
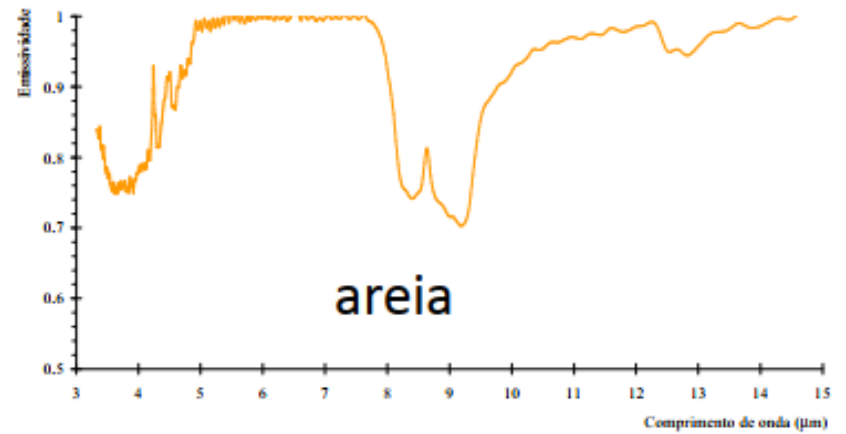
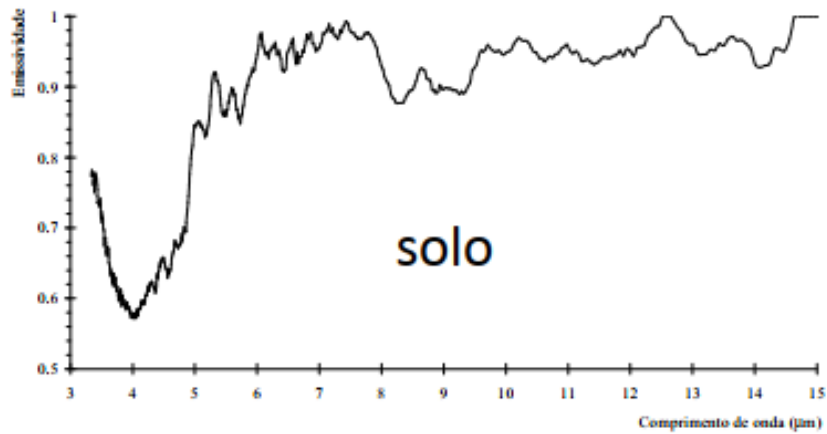
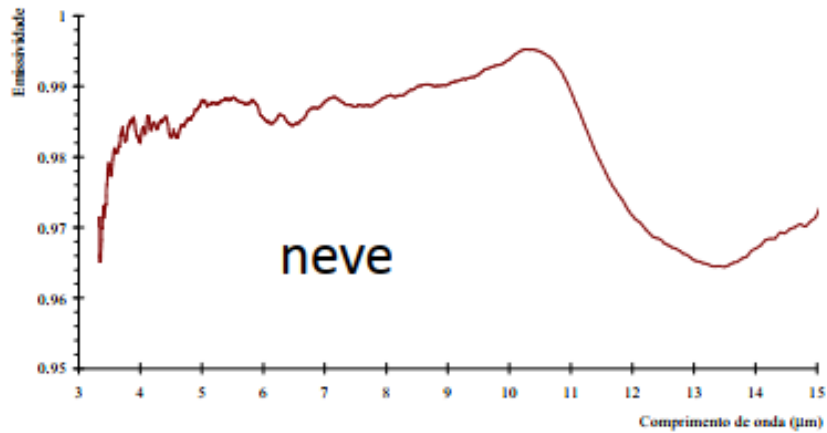


Figura 3.15 - Emissividade e Emitância de uma superfície de areia a 280 K e 350 K (dados da Modis Emissivity Library, University of Santa Barbara, Califórnia)

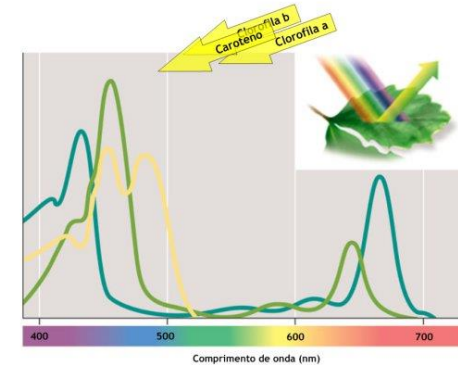
Emissividade



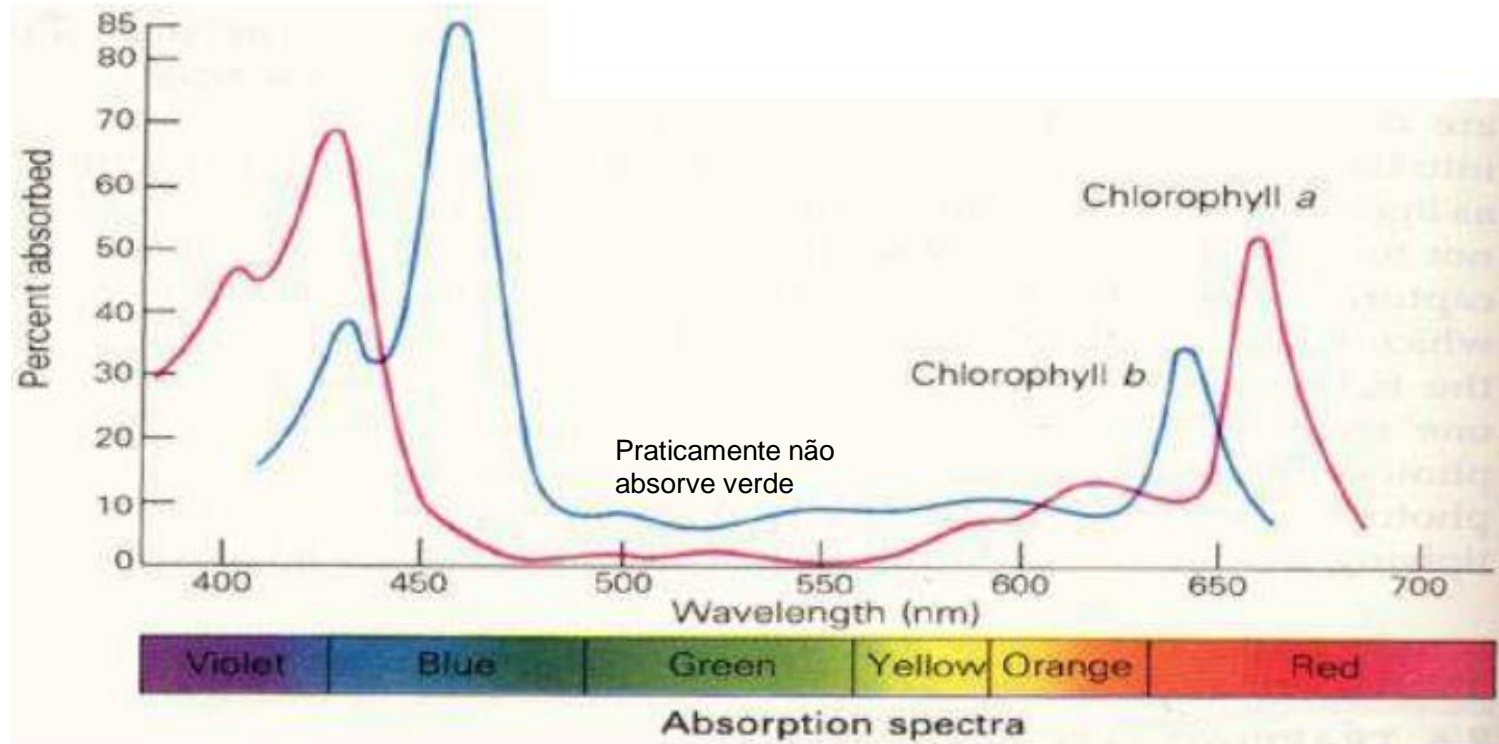
Clorofila

A clorofila é um pigmento que dá a cor verde das folhas, é produzido pelas plantas e capta energia das radiações solares ajudando no processo de transformar essa energia em compostos orgânicos. Ou seja transforma a energia solar em um outro tipo de energia orgânica, nomeadamente açúcares, possível de ser utilizada em todos os processos de crescimento da planta, mesmo em zonas que não estão expostas à luz solar como as raízes.

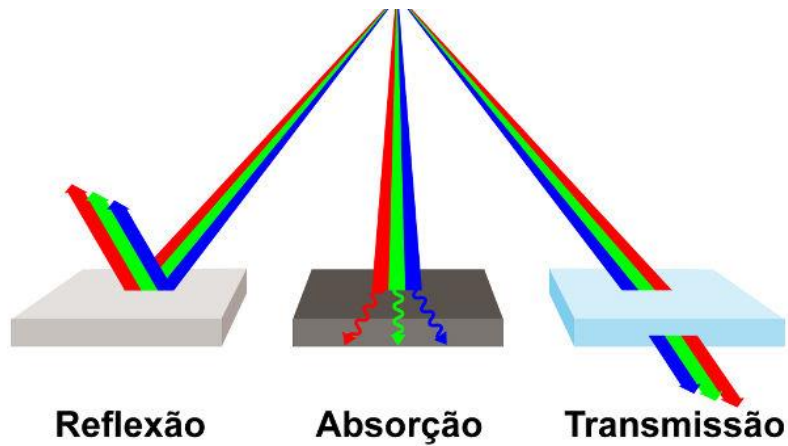
Dito isto o mais importante esclarecer que a clorofila tem cor verde porque é o espectro da radiação solar que é refletido. Por outras palavras a clorofila funciona como um espelho para o verde. O verde não é usado na fotossíntese, não tem importância biológica para a planta e por isso é rejeitado, refletido para o exterior. Os nossos olhos captam as cores reflectidas pelos objectos, não as absorvidas, por isso que percebemos as folhas como verdes. A próxima imagem exemplifica isso.



Porcentagem absorvida



Absorção, Reflexão e Transmissão



A intensidade de cada um destes fenómenos depende de um conjunto de fatores:

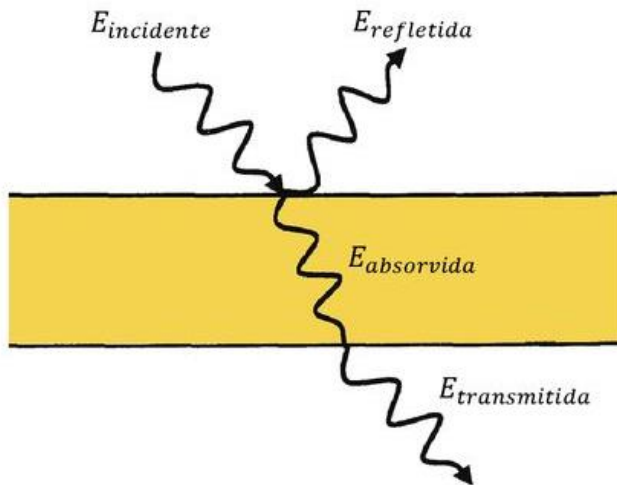
Propriedades da **onda (frequência)**;

Propriedades dos **meios de propagação envolvidos**;

Inclinação da onda relativamente à superfície.

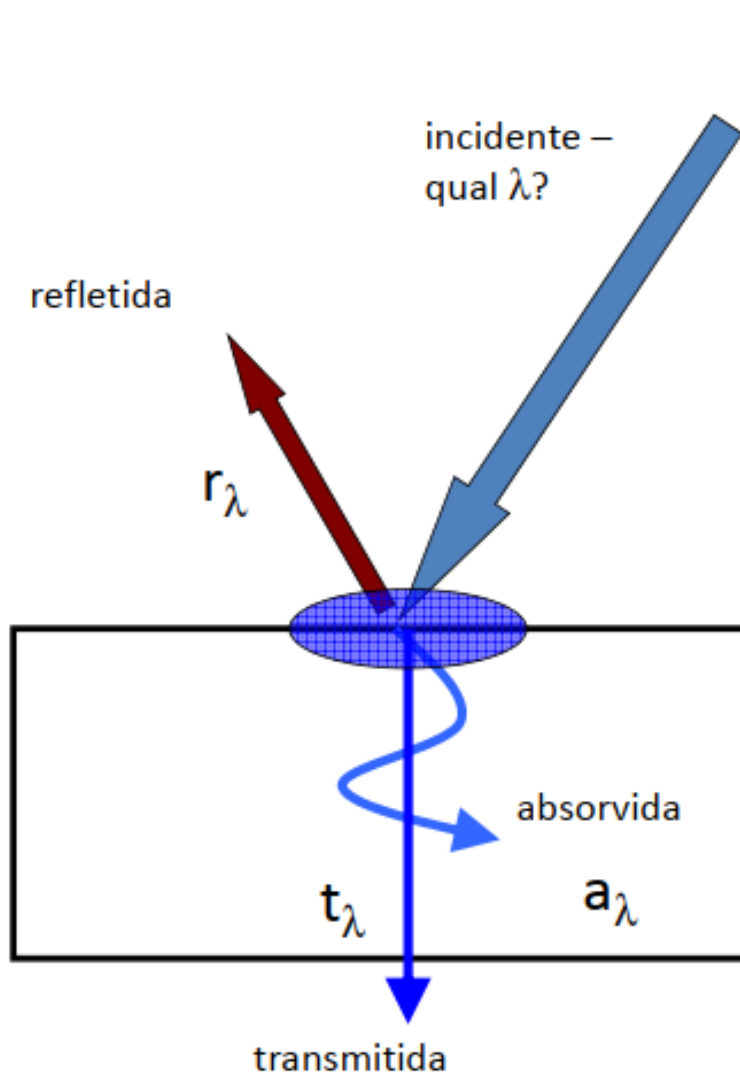
Há conservação de energia:

$$E_{\text{incidente}} = E_{\text{refletida}} + E_{\text{absorvida}} + E_{\text{transmitida}}$$



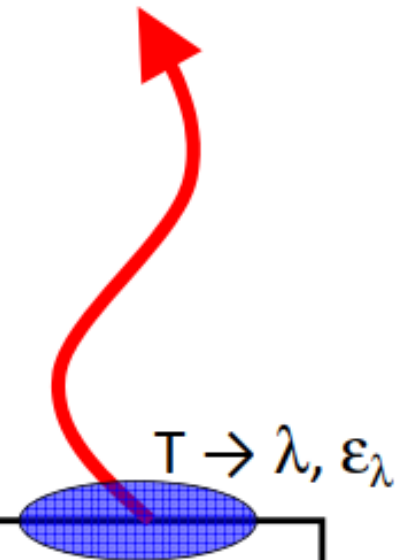
Lei de Kirchhoff: a absorvidade e a emissividade de um corpo são iguais, para um dado comprimento de onda.

ABSORÇÃO



EMISSÃO

emitida



Outras Leis da Radiação

(Leia cap. 4 que está no e-disciplinas)

Lei de Beer

Atenuação de radiação:

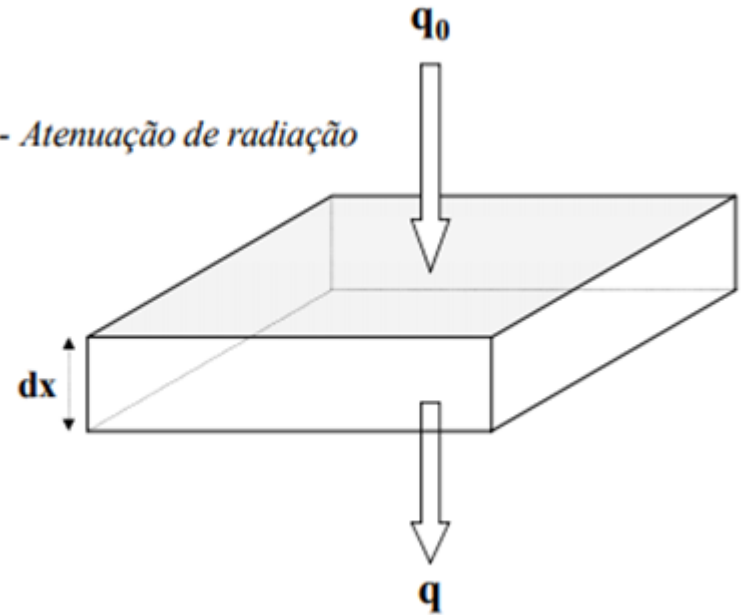
Lei de Beer

$$q = q_0 e^{-kx}$$

x é a espessura do material [m]

k é o coeficiente de atenuação do material [m^{-1}]

Figura 4.1 - Atenuação de radiação



Caso saiba q , q_0 e x e queira calcular o k :

$$k = \frac{\ln\left(\frac{q_0}{q}\right)}{x}$$

Revisão Logaritmo

Logaritmo na base 10 (log) e Logaritmo na base e (ln)

Logaritmo na base 10:

Não tenha medo do Logaritmo!

$$\text{Log}_{10}(X) = y$$

$$X = 10^y$$

Logaritmo Neperiano (na base $e = 2,718\dots$) ou

$$\text{Ln}_e(X) = y$$

$$X = e^y$$

Logaritmando

Logaritmo

$$\text{Log}_a b = x \Leftrightarrow a^x = b$$

Base

Teste na calculadora*



Número neperiano: e

Número neperiano ($e = 2,718281\dots$)

Número de Euler

[https://pt.wikipedia.org/wiki/E_\(constante_matem%C3%A1tica\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/E_(constante_matem%C3%A1tica))

<https://www.youtube.com/watch?v=AuA2EAgAegE>



Exemplo Lei de Beer

Determinado vidro tem um coeficiente de atenuação de luz visível de $k=1,2 \text{ cm}^{-1}$.

- a) Expressar esse coeficiente em unidade do Sistema Internacional.
- b) Para vidros de 3, 6 e 10 mm de espessura, calcular a quantidade de **radiação transmitida** se a intensidade de radiação visível incidente for igual a $q_0=400 \text{ W/m}^2$. Considerar a refletividade do vidro igual a 0,1.
- c) Para os vidros de 3, 6 e 10 mm de espessura, calcular a quantidade de **radiação absorvida** se a intensidade de radiação visível incidente for igual a $q_0=400 \text{ W/m}^2$. Considerar a refletividade do vidro igual a 0,1.
- d) Qual é a absortividade das três espessuras de vidro?

Lei do co-seno

A densidade de fluxo de calor que chega na superfície (q_1) é dada por:

$$q_1 = q_0 \cos(\alpha)$$

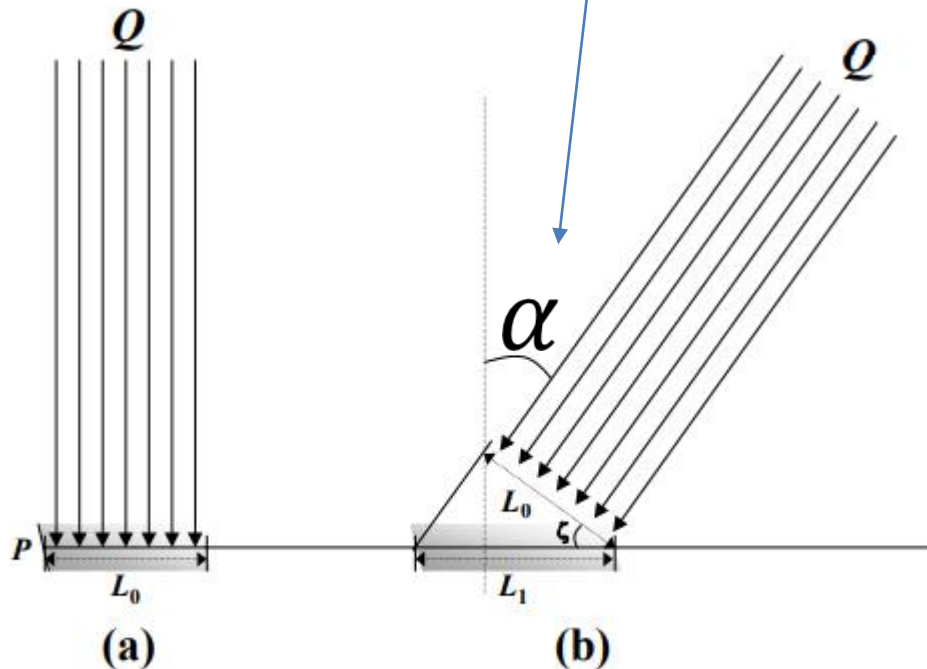


Figura 4.3 - A Lei do co-seno

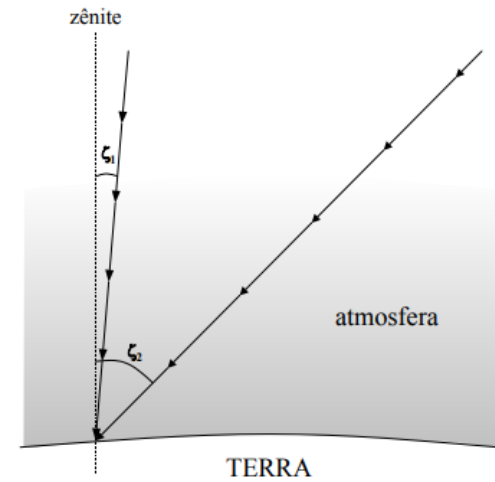


Figura 4.2 - Dois possíveis caminhos da radiação solar pela atmosfera terrestre. Com o aumento do ângulo zenital de ζ_1 para ζ_2 , o caminho fica mais longo.

Exemplo Lei do co-seno

3. Num determinado instante, a intensidade da radiação solar observada perpendicularmente à sua direção é 450 W/m^2 . Quanto será a intensidade numa superfície que faz um ângulo de 30° com essa direção? E se o ângulo for de 80° ? (lei do co-seno)

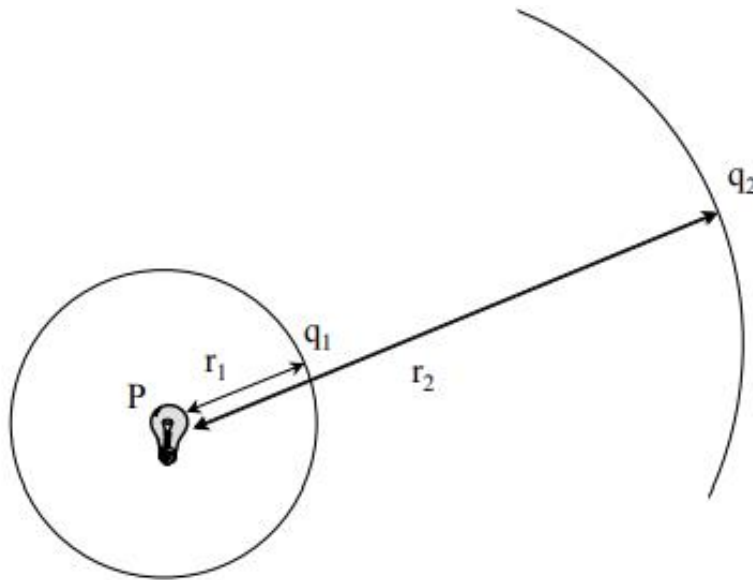
Lei do Inverso do Quadrado da Distância

P é a potência irradiada pela fonte [Watts]

Área de uma esfera é $\rightarrow A = 4\pi r^2$

Logo a densidade de fluxo de calor pela esfera é: $q = P / 4\pi r^2$

Pode-se demonstrar que a **Lei do Inverso do quadrado da Distância** é:

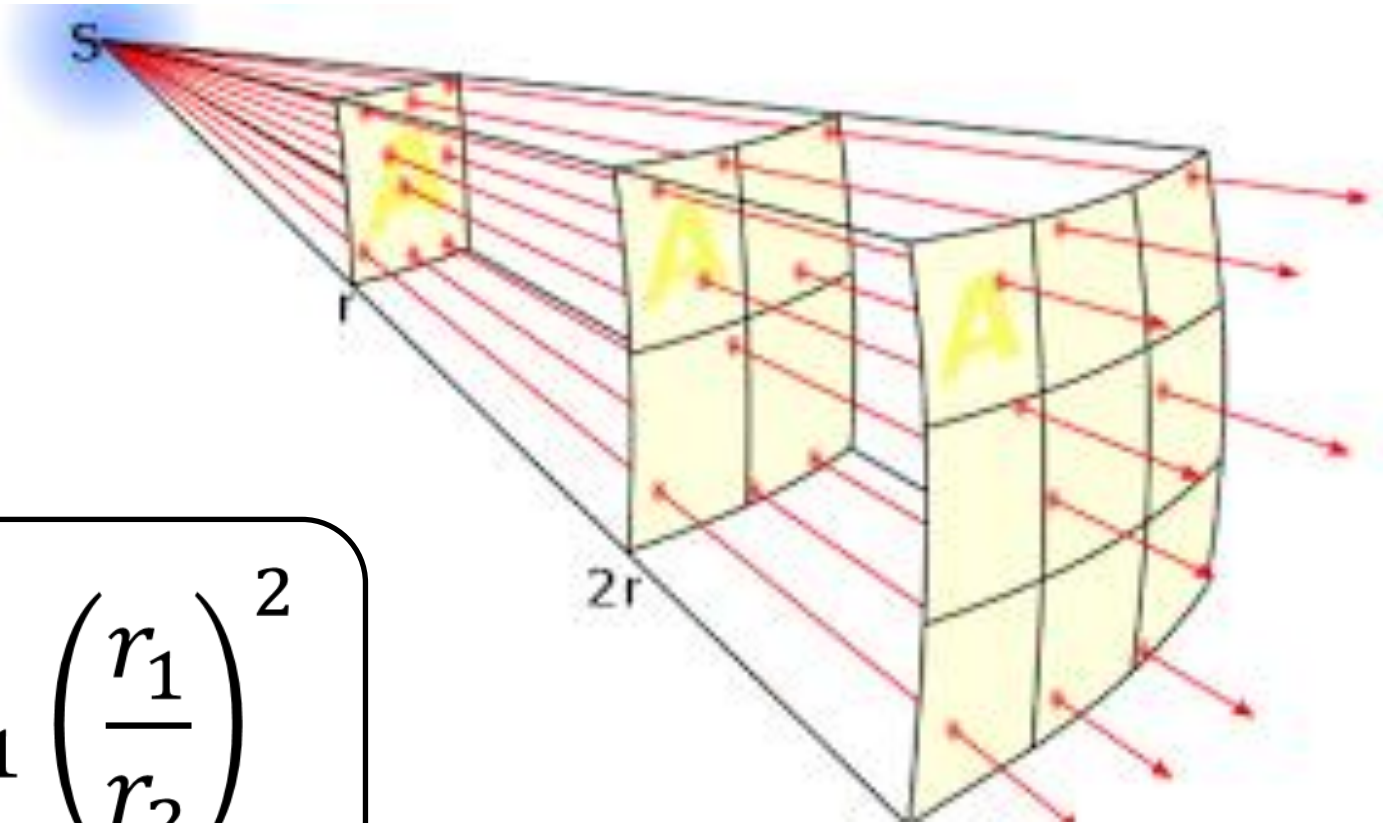


$$q_2 = q_1 \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2$$

Figura 4.4 - Uma fonte de luz com diferentes densidades de fluxo em função da distância.

Lei do Inverso do Quadrado da Distância

Ou seja, conforme a distância vai aumentando, a densidade de energia por área vai diminuindo (energia total se conserva, porém está espalhada em uma área muito maior)

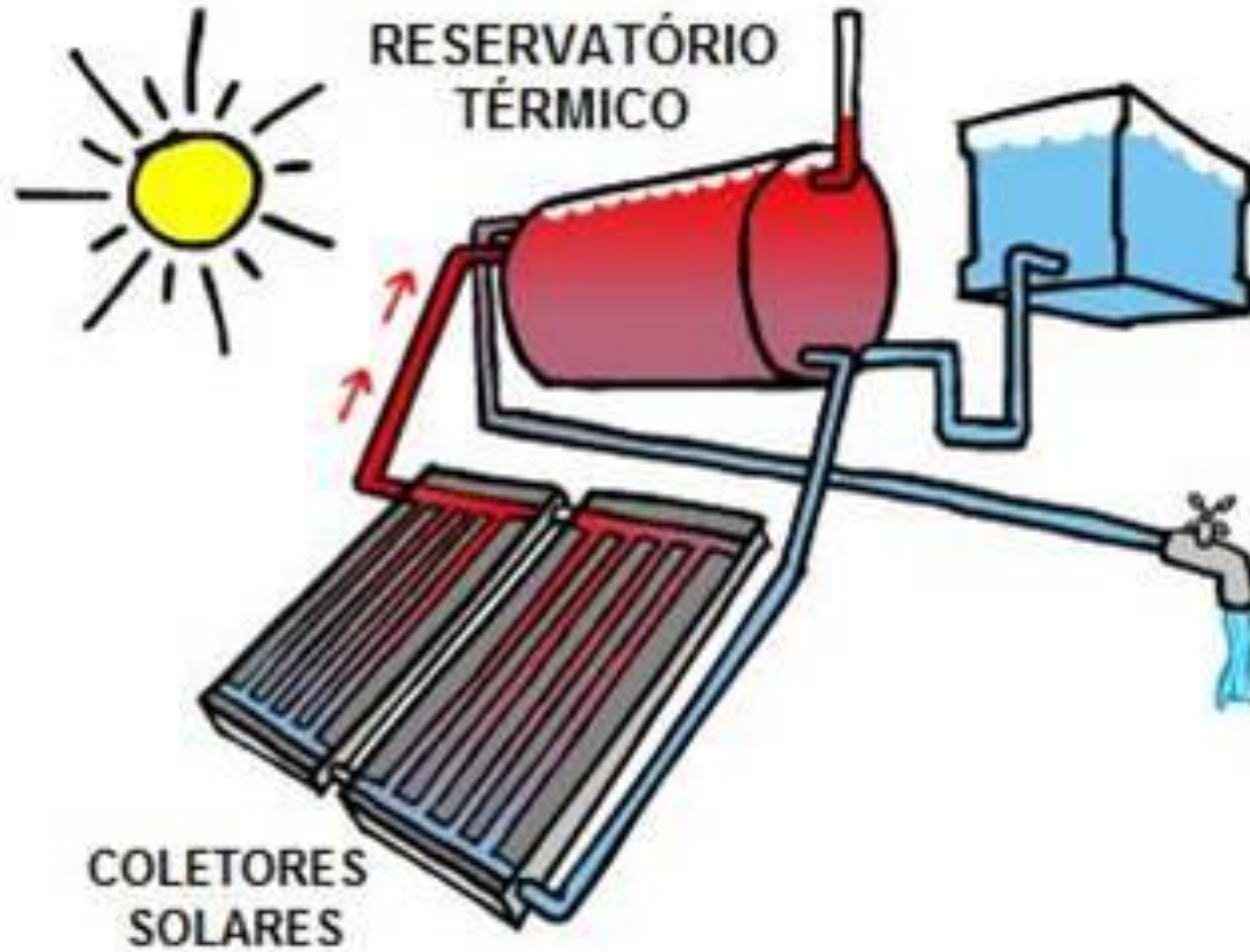


$$q_2 = q_1 \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2$$

Exemplo: Lei do Inverso do Quadrado da Distância

1. Em relação à radiação térmica emitida pelo Sol (temperatura do sol: $T=5800$ K) e pela Terra ($T=288$ K), calcular:
 - a) Qual é a emissão total (todo o espectro) de radiação de um metro quadrado da superfície do Sol e da Terra? (Lei de Stefan-Boltzmann)
 - b) Qual é a potência do Sol (quanta energia o Sol emite por segundo), sabendo que o raio do Sol é $6,96 \cdot 10^8$ m?
 - c) Qual é a densidade de fluxo radiante com que a radiação solar chega no topo da atmosfera da Terra, a chamada constante solar q_s , em W/m^2 , sabendo que a distância do Sol até a Terra é $1,5 \cdot 10^{11}$ m.

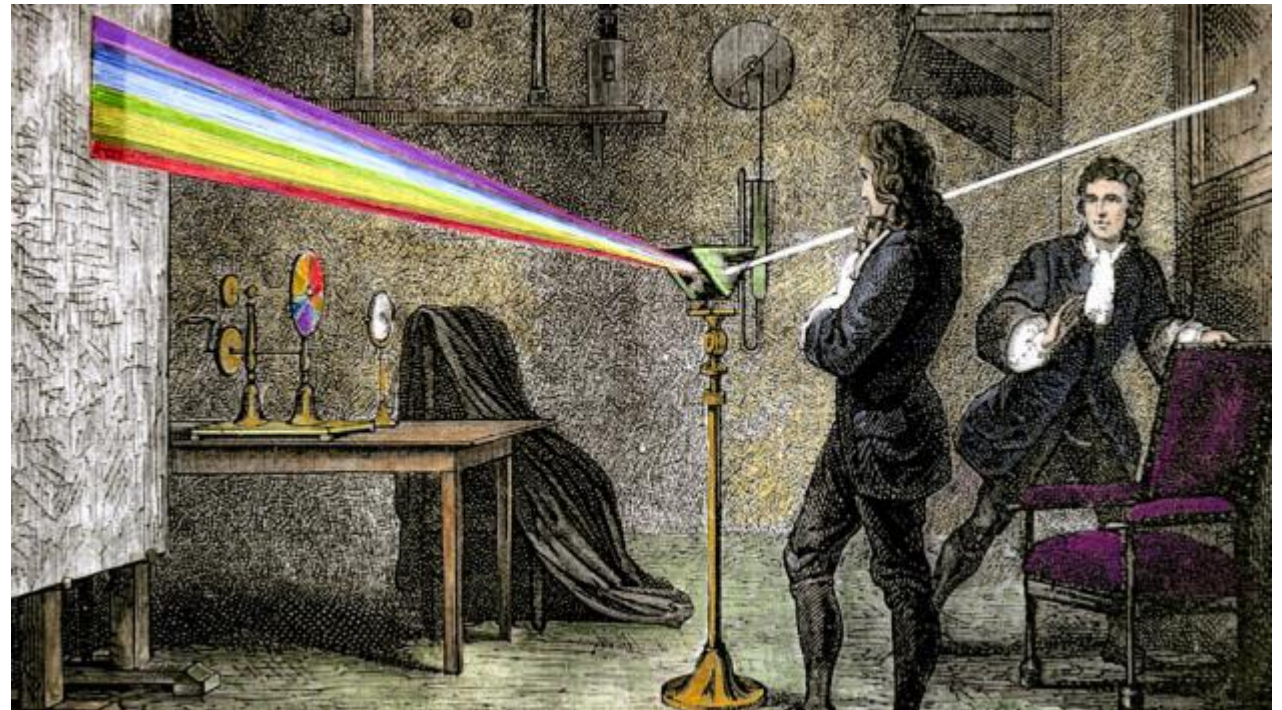
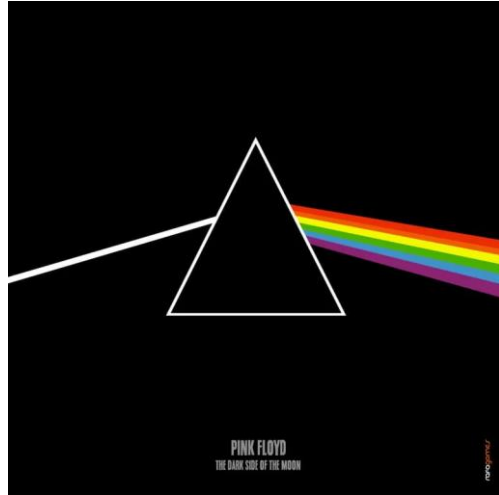
Reservatório térmico



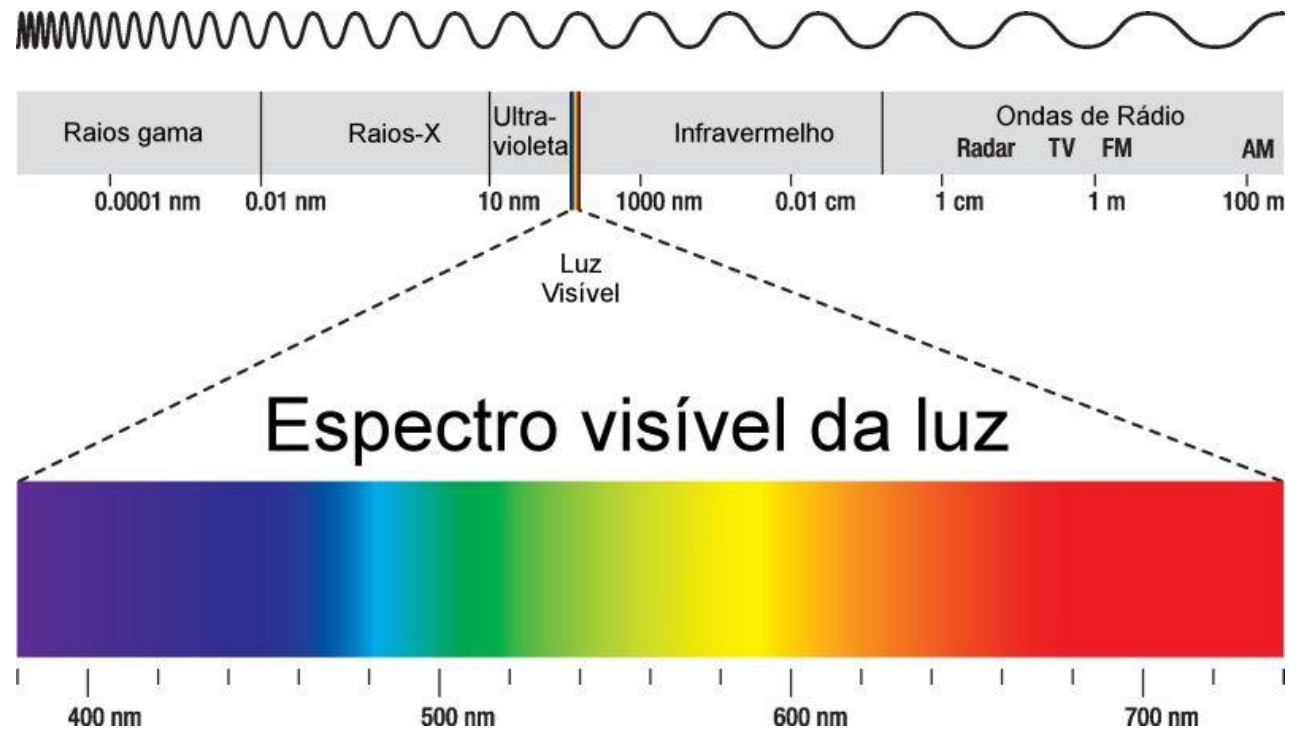
Radiação

(Ondas Eletromagnéticas)

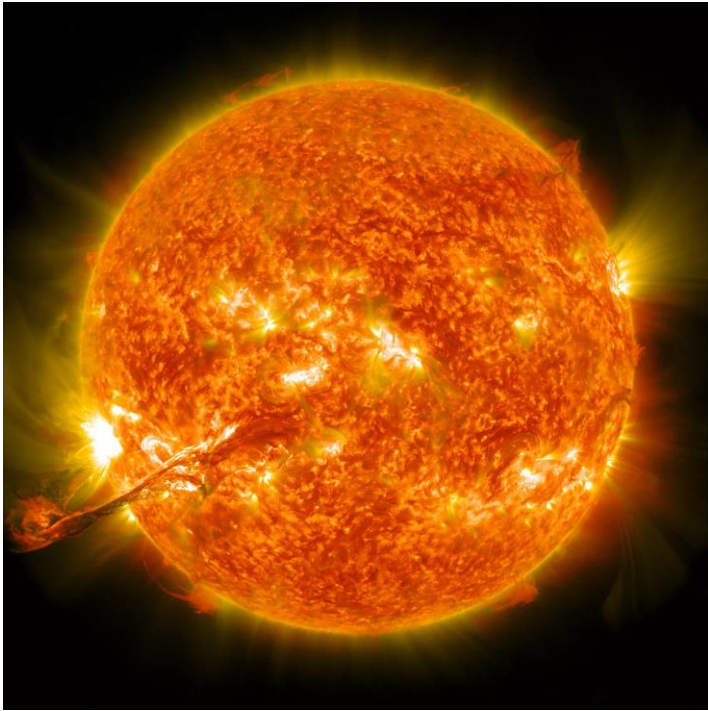
Radiação (Luz)



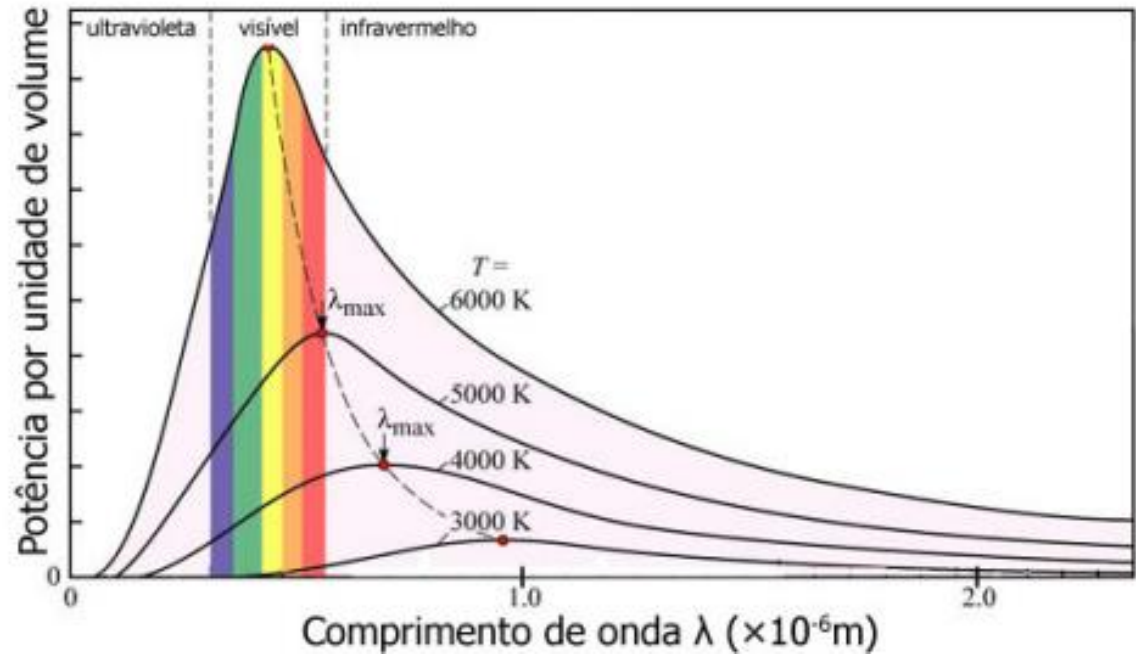
Radiação térmica



Radiação térmica



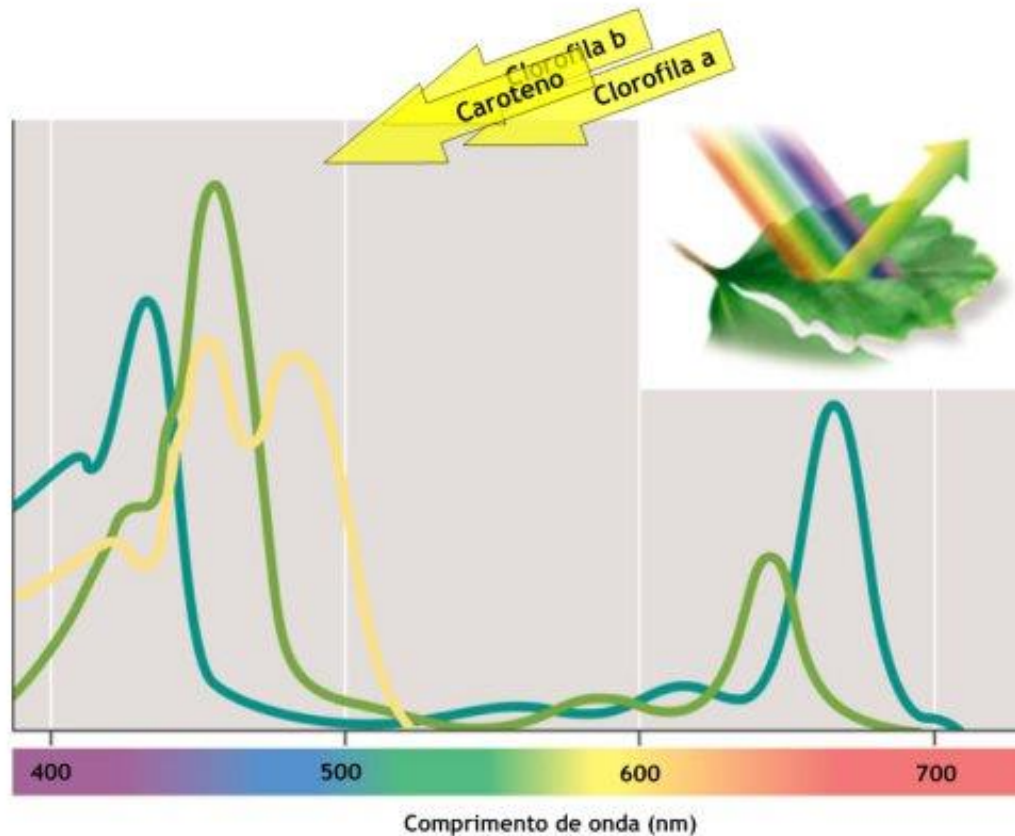
Temperatura da superfície do sol 6000 °C



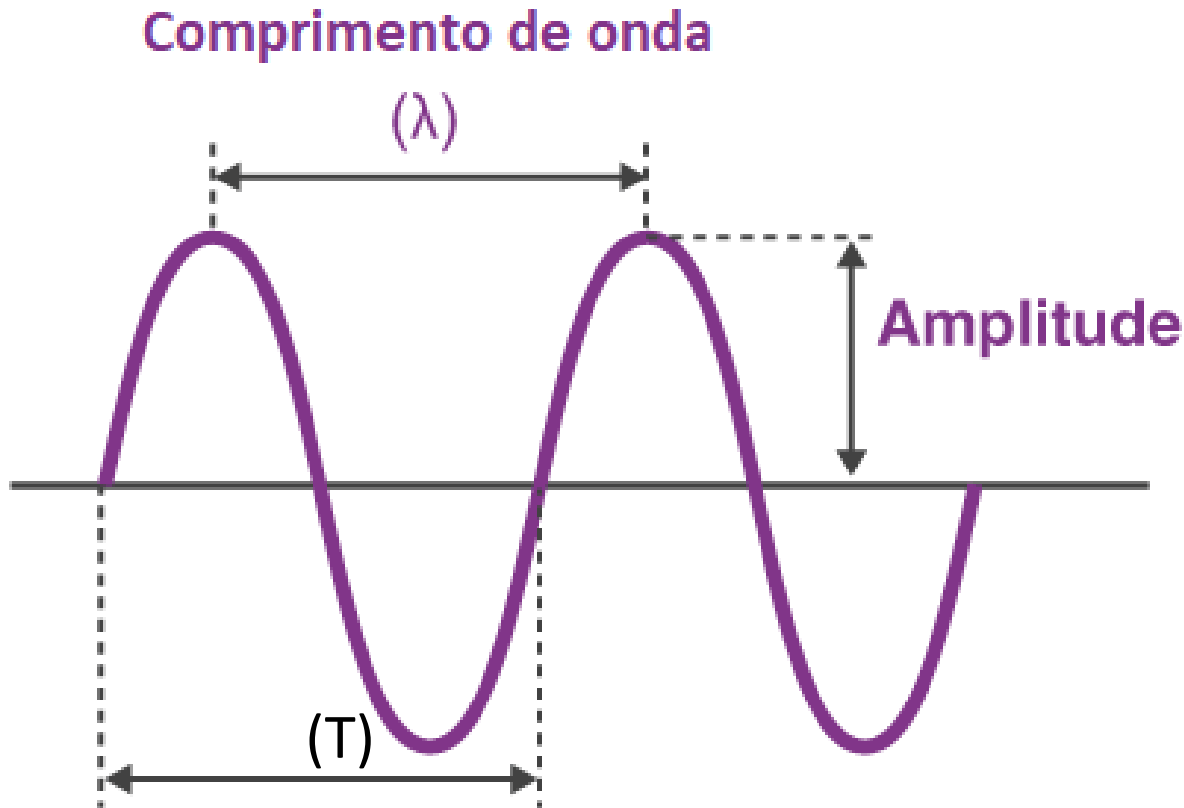
Espectro

A clorofila é um pigmento que dá a cor verde das folhas, é produzido pelas plantas e capta energia das radiações solares ajudando no processo de transformar essa energia em compostos orgânicos. Ou seja transforma a energia solar em um outro tipo de energia orgânica, nomeadamente açúcares, possível de ser utilizada em todos os processos de crescimento da planta, mesmo em zonas que não estão expostas à luz solar como as raízes.

Dito isto o mais importante esclarecer que a clorofila tem cor verde porque é o espectro da radiação solar que é refletido. Por outras palavras a clorofila funciona como um espelho para o verde. O verde não é usado na fotossíntese, não tem importância biológica para a planta e por isso é rejeitado, refletido para o exterior. Os nossos olhos captam as cores reflectidas pelos objectos, não as absorvidas, por isso que percebemos as folhas como verdes. A próxima imagem exemplifica isso que acabei de dizer.



Ondas



(Uma oscilação)
Frequência é o número de oscilações em um segundo

$$f = \frac{1}{T}$$

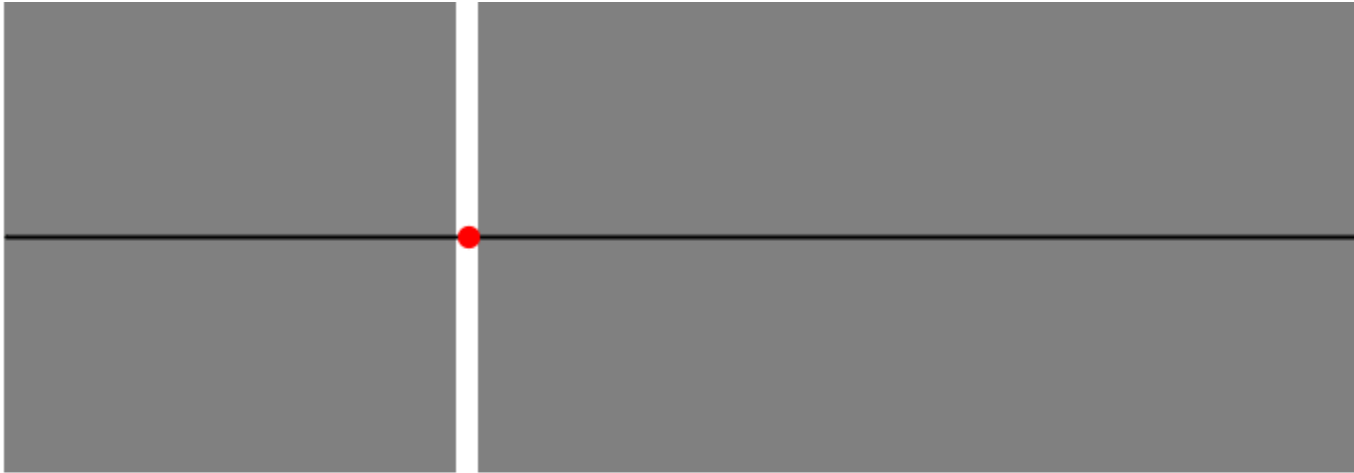
Período (T) é o tempo que leva para ocorrer uma oscilação

Frequência é igual a 1/Período e medido em Hertz = 1/seg

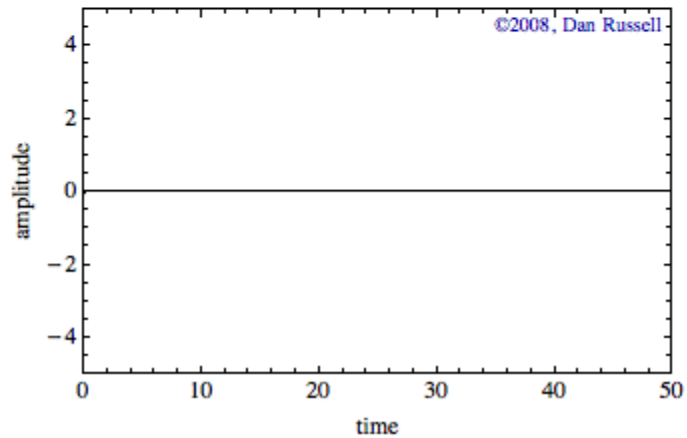
Ondas

Intensidade de uma onda

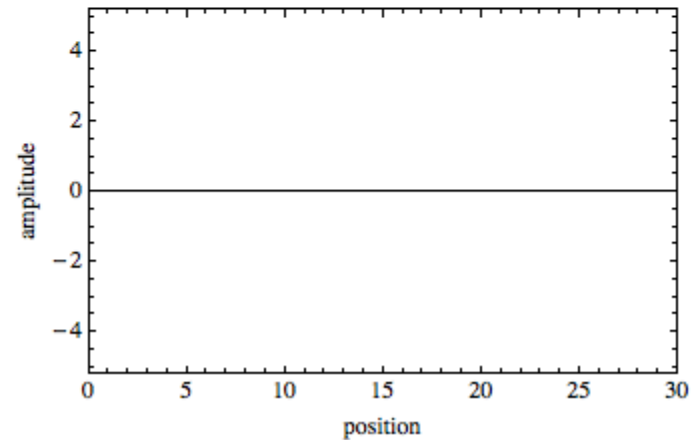
(Transmissão de energia)



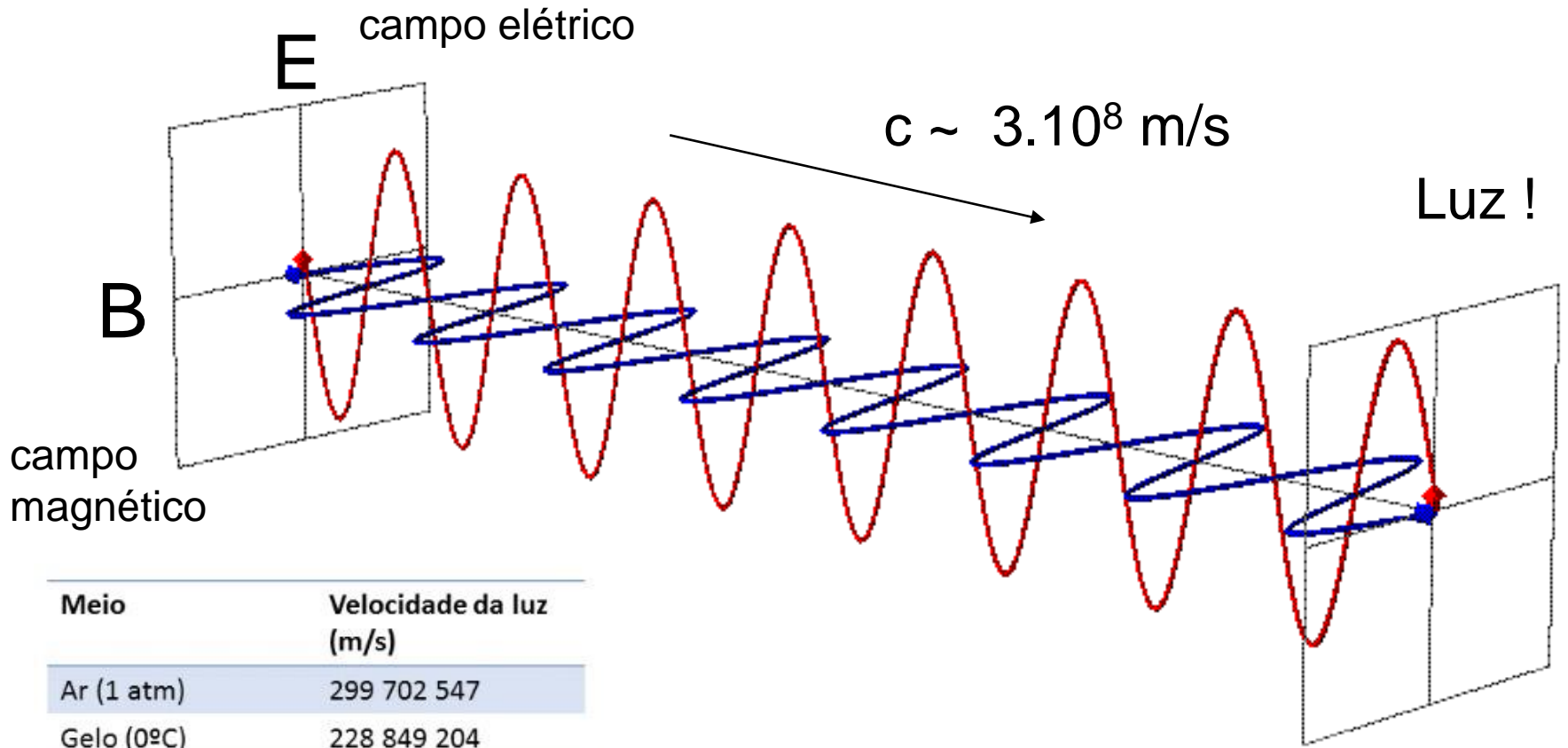
Time behavior at $x=10.25$



Snapshot of wave at $t=27s$



Ondas Eletromagnéticas



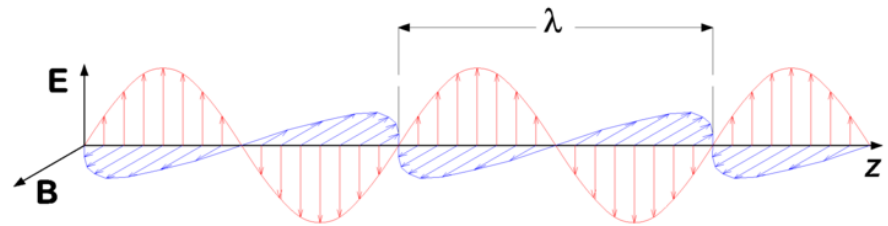
campo magnético

campo elétrico

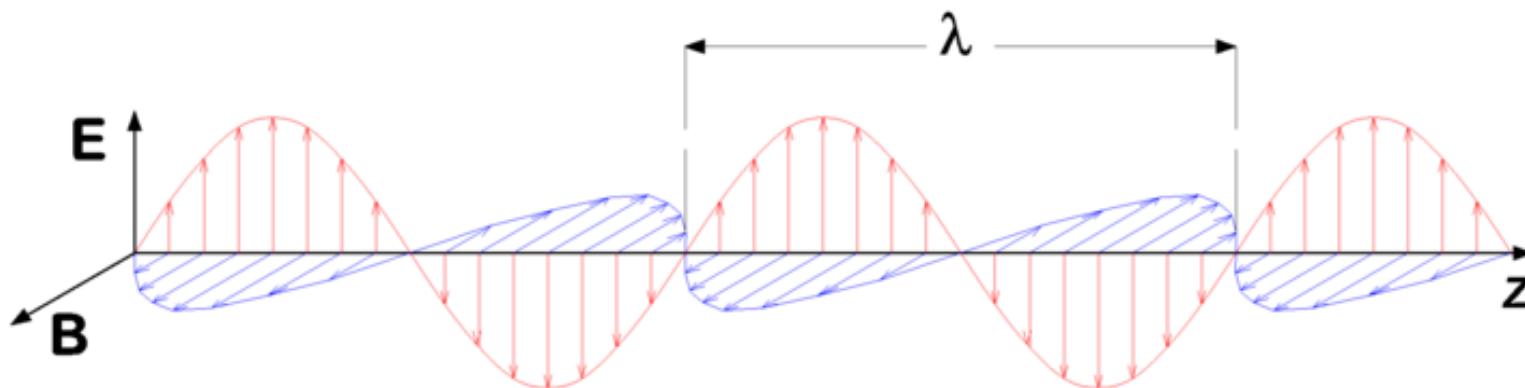
$$c \sim 3.10^8 \text{ m/s}$$

Luz !

Meio	Velocidade da luz (m/s)
Ar (1 atm)	299 702 547
Gelo (0°C)	228 849 204
Água (20°C)	225 407 863
Álcool Etílico	220 435 631
Glicerina	203 940 448
Vidro	199 861 638
Quartzo	194 670 427
Diamante	123 881 180



Velocidade da Onda Eletromagnética

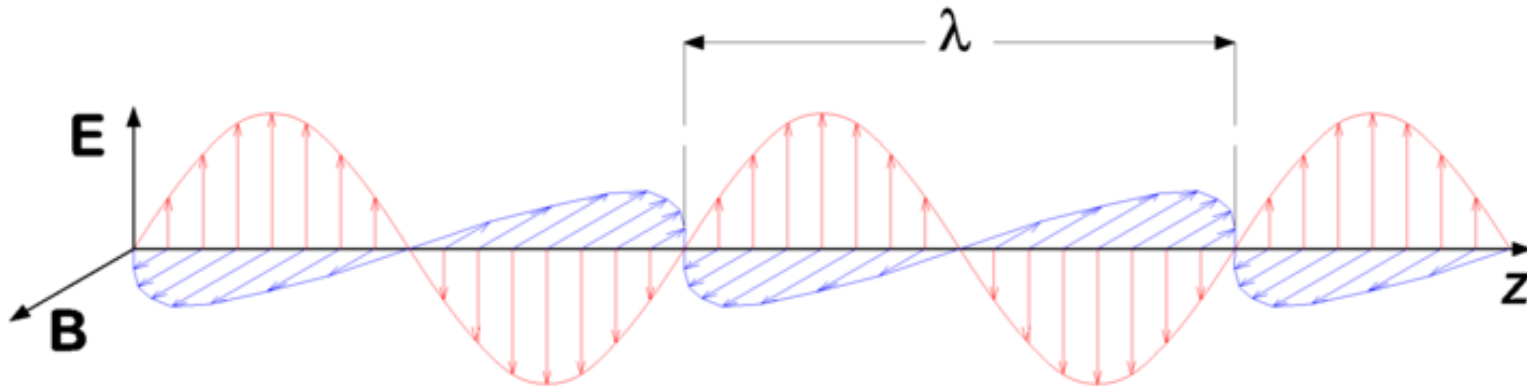


Velocidade (v) é igual ao comprimento de onda (λ) vezes a frequência (f) da onda eletromagnética:

$$v = \lambda \cdot f$$

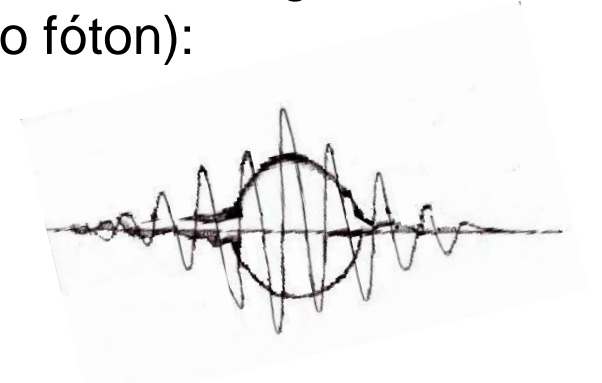
- Velocidade (v) é medido em metros/segundo [m/s]
- Comprimento de onda (λ) em metros [m]
- Frequência (f) é medido em 1/segundo = Hertz [Hz]

Energia da Onda Eletromagnética



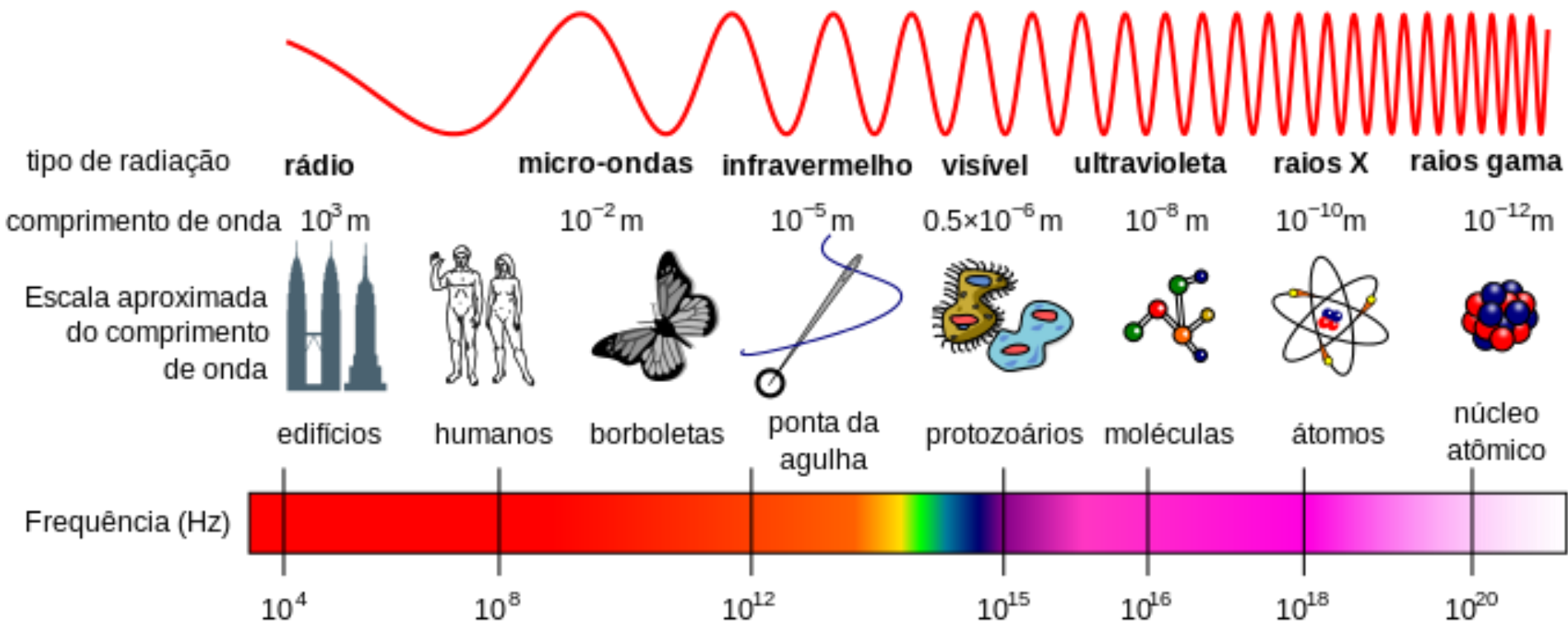
A energia dos **fótons** (pacotes de energia) que a Onda Eletromagnética carrega, é calculado com a fórmula (Lei de Planck do fóton):

$$E = hf$$



- Energia de um fóton (E) é medido em Joules [J]
- h é a constante de Planck $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s, unidades: joules * segundos
- Frequência (f) é medido em 1/segundo = Hertz [Hz]

O espectro eletromagnético



h = constante de Planck ($6,63 \times 10^{-34}$ J.s)

c = velocidade da luz no vácuo (3×10^8 m.s $^{-1}$)

λ = comprimento de onda (m)

f = frequência (Hertz = s $^{-1}$)

$$v = \lambda \cdot f$$

$$E = hf$$

Exemplo:

Selecionando apenas uma frequência..

Amarelo tem frequência de $\sim 520 \cdot 10^{12}$ Hz, qual o comprimento de onda?

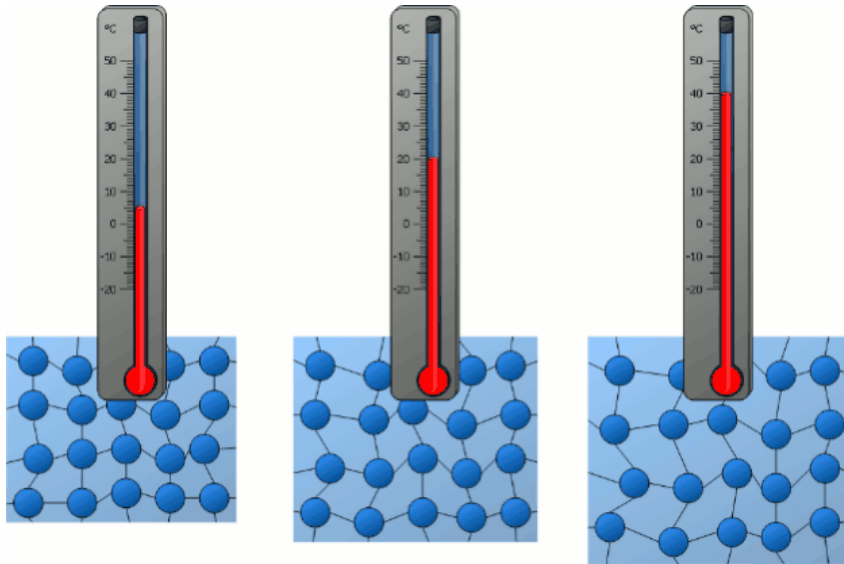
R: ~ 577 nm

$$v = \lambda \cdot f$$



Mais precisamente a velocidade da luz no vácuo é $v = c = 299\,792\,458$ m/s

Radiação térmica



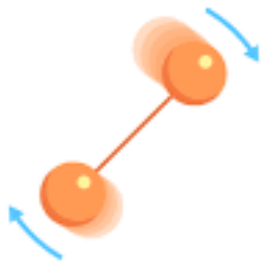
Temperatura

radição térmica absorvida
aumenta agitação moléculas:

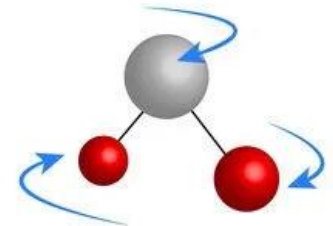
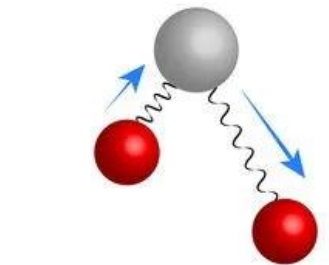
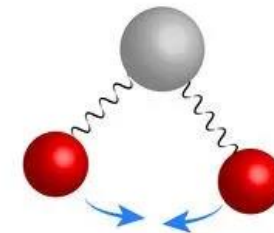
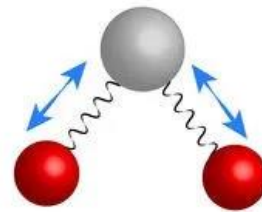
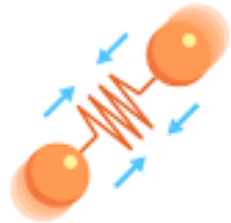
Translação



Rotação



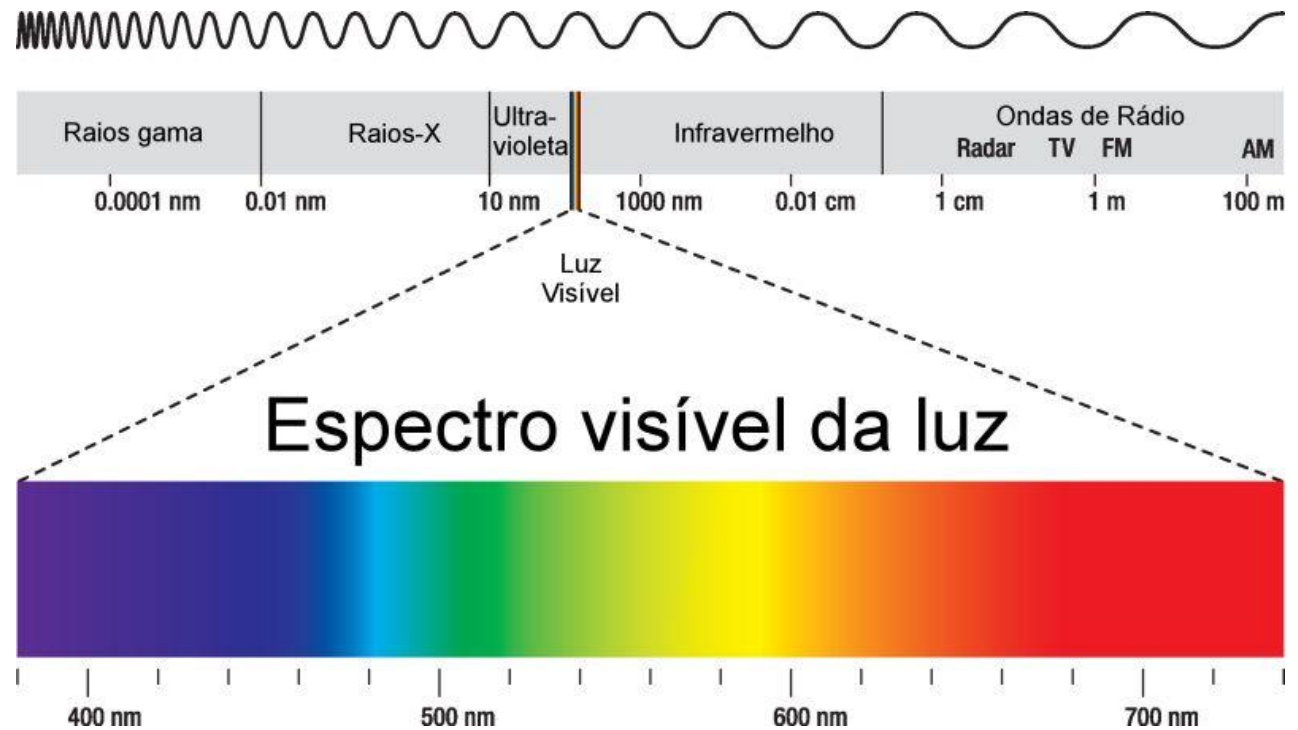
Vibração



Radiação térmica



Infravermelho



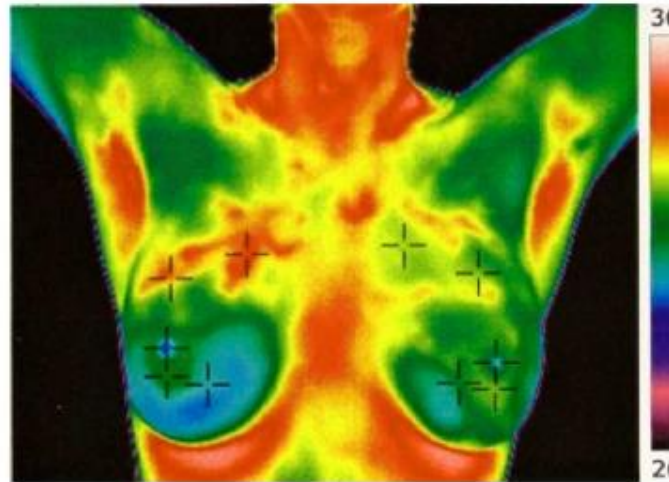
Radiação térmica



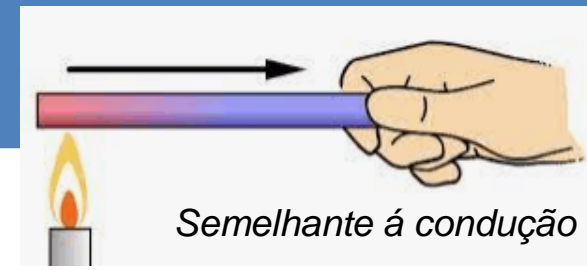
Termômetro de infravermelho



Câmera térmica



Fluxo de energia pela radiação



➤ Fluxo de Calor radiante (Φ)

→ calor em movimento por radiação.. Calor (energia) por unidade de tempo:

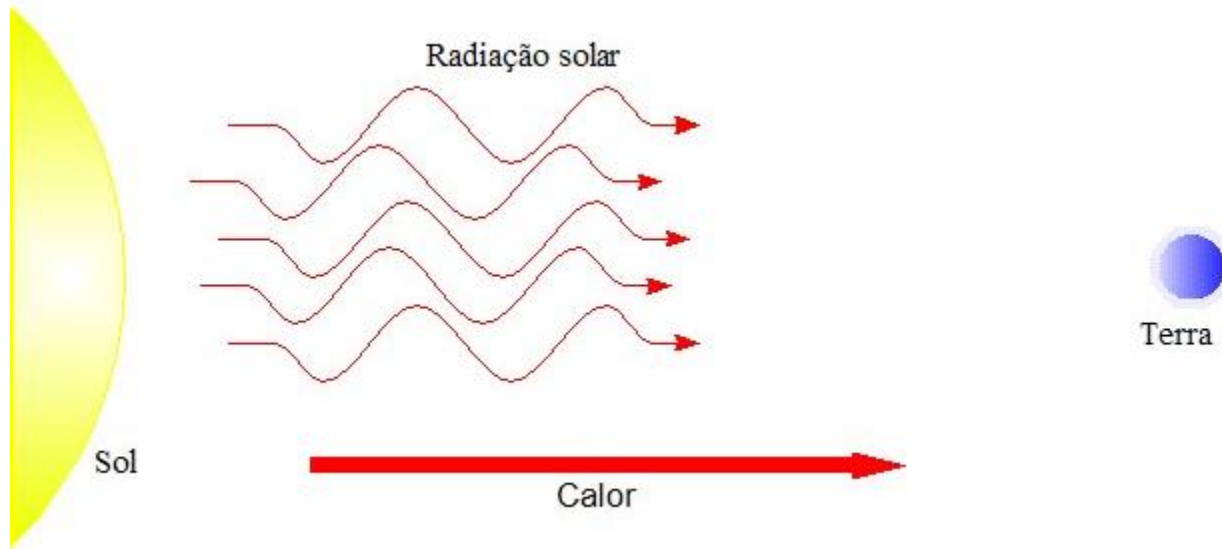
$$\Phi \rightarrow \left[\frac{\text{Energia}}{\text{Tempo}} \right]$$

Unidades:

$$\left[\frac{\text{Joules}}{s} \right]$$

$$\left[\frac{\text{cal}}{s} \right]$$

[Watts]



Densidade de Fluxo de energia pela radiação

➤ Densidade de Fluxo de Calor radiante (q)

→ calor em movimento por área.. calor por unidade de tempo e área:

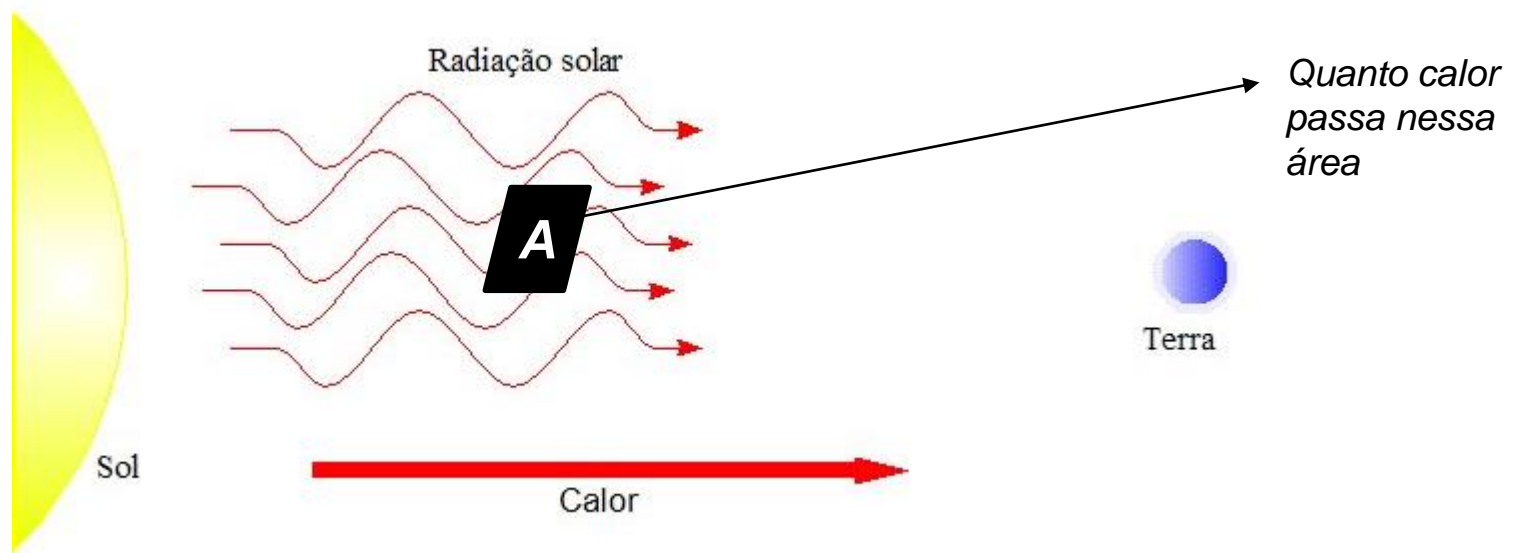
$$q = \frac{\Phi}{[\text{Área}]} \rightarrow \left[\frac{\text{Energia}}{\text{Tempo. Área}} \right]$$

Unidades:

$$\left[\frac{\text{Joule}}{\text{s. m}^2} \right]$$

$$\left[\frac{\text{cal}}{\text{s. m}^2} \right]$$

$$\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$



Emitância espectral

Emitância espectral: descreve quanta energia é emitida por área (m^2) e para cada comprimento de onda (λ)

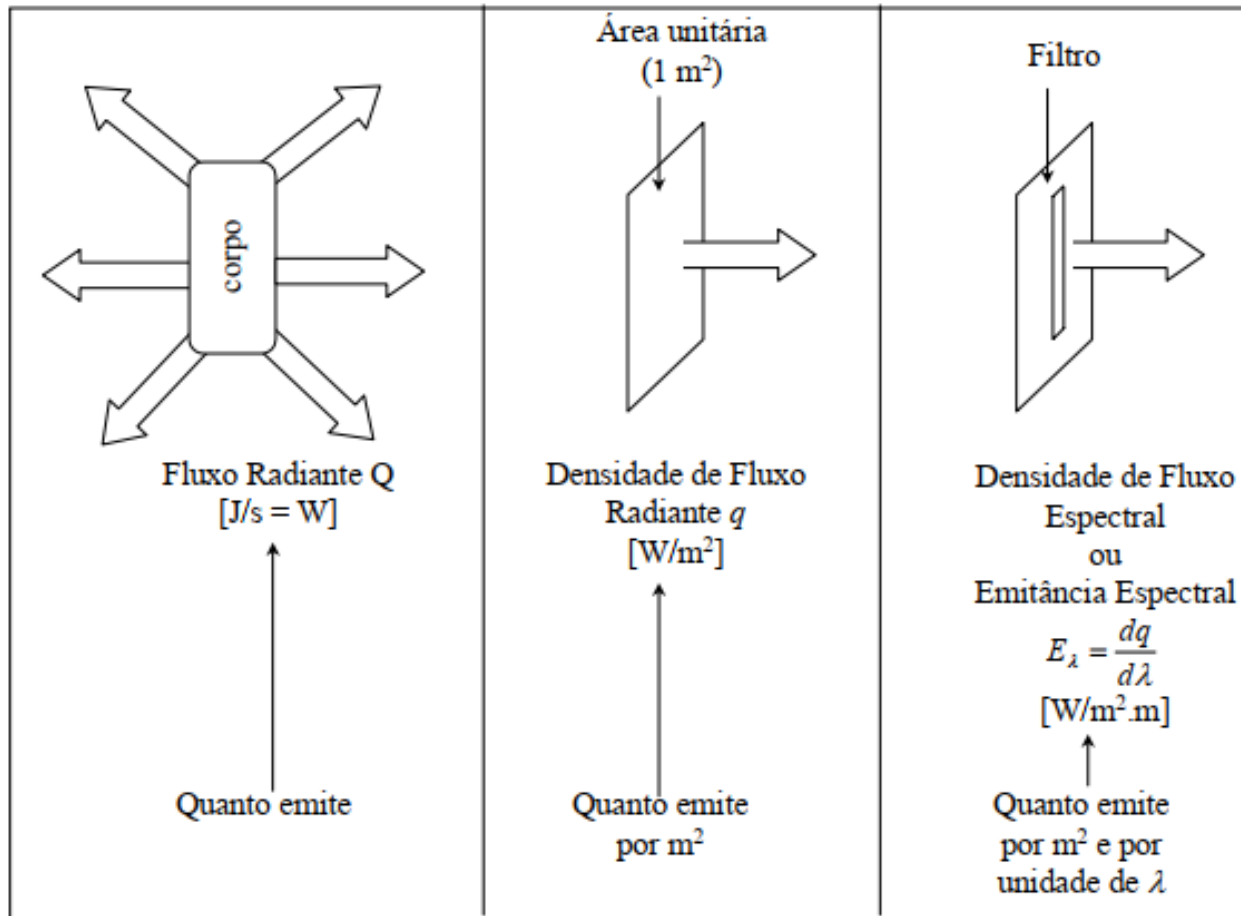


Figura 3.6 - Fluxo radiante, densidade de fluxo radiante e emitância espectral.

Emitância espectral

Observa-se, nessa figura, que a **emitância espectral** é maior para o corpo mais quente, para qualquer comprimento de onda. Além disso, verifica-se que a emissão máxima ocorre para um comprimento de onda menor (500 nm) do que quando a temperatura for maior (644 nm). O valor de máxima emissão ocorre no ponto de máximo do gráfico. A Lei de Wien descreve isso.

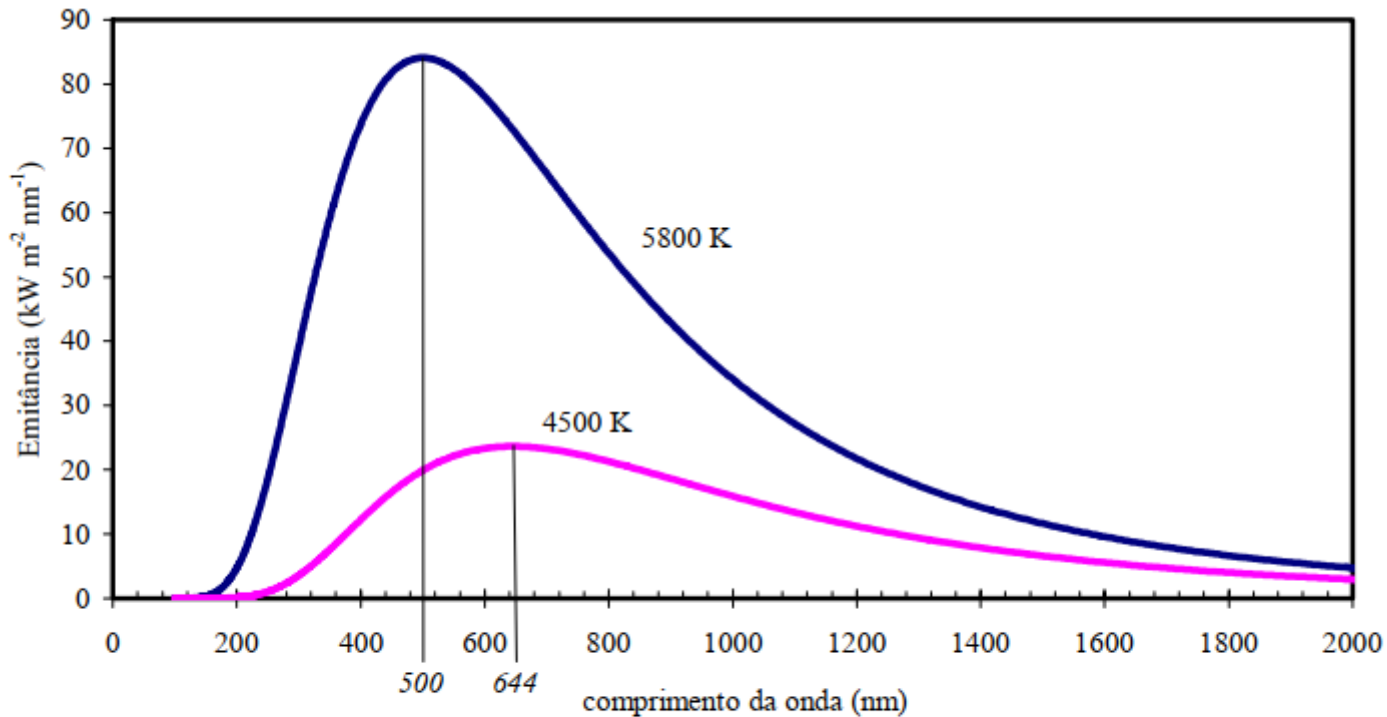


Figura 3.7 - Emitância de um corpo a 5800 K (temperatura da superfície do Sol) e outro a 4500 K

Emitância espectral

Se quisermos representar os espectros de *emissão do Sol*, a 5800 K, e *da Terra*, a 288 K, num só gráfico, temos que adotar escalas logarítmicas para compensar pela enorme diferença de energia emitida pelos dois corpos. No seu comprimento de onda de máxima emissão (500 nm = 0,5 μm), o Sol emite em torno de 100 MW $\text{m}^{-2} \text{mm}^{-1}$. A Terra, no seu máximo (10 000 nm = 10 μm) emite algo como 0,00001 MW $\text{m}^{-2} \text{mm}^{-1}$

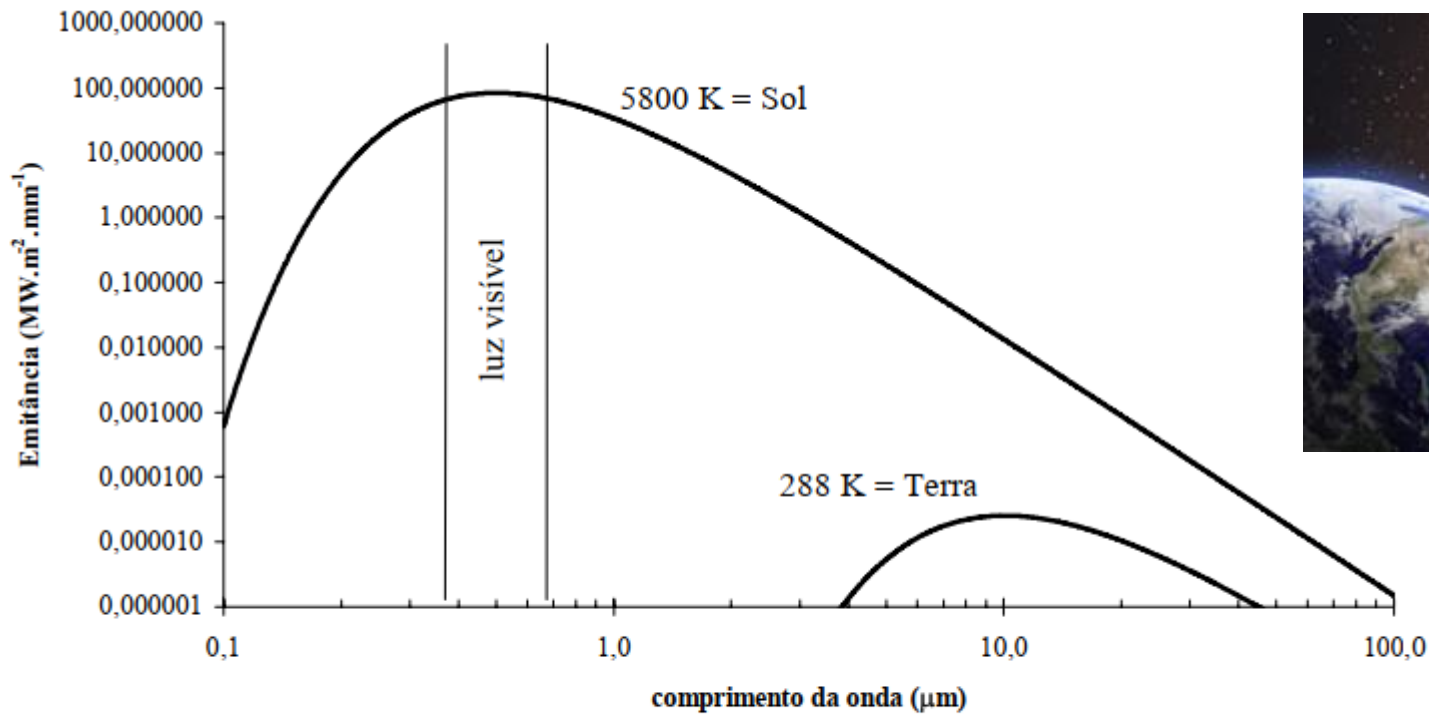


Figura 3.8 - Emitância de um corpo a 5800 K (temperatura da superfície do Sol) e outro a 288 K (temperatura média da superfície da Terra)

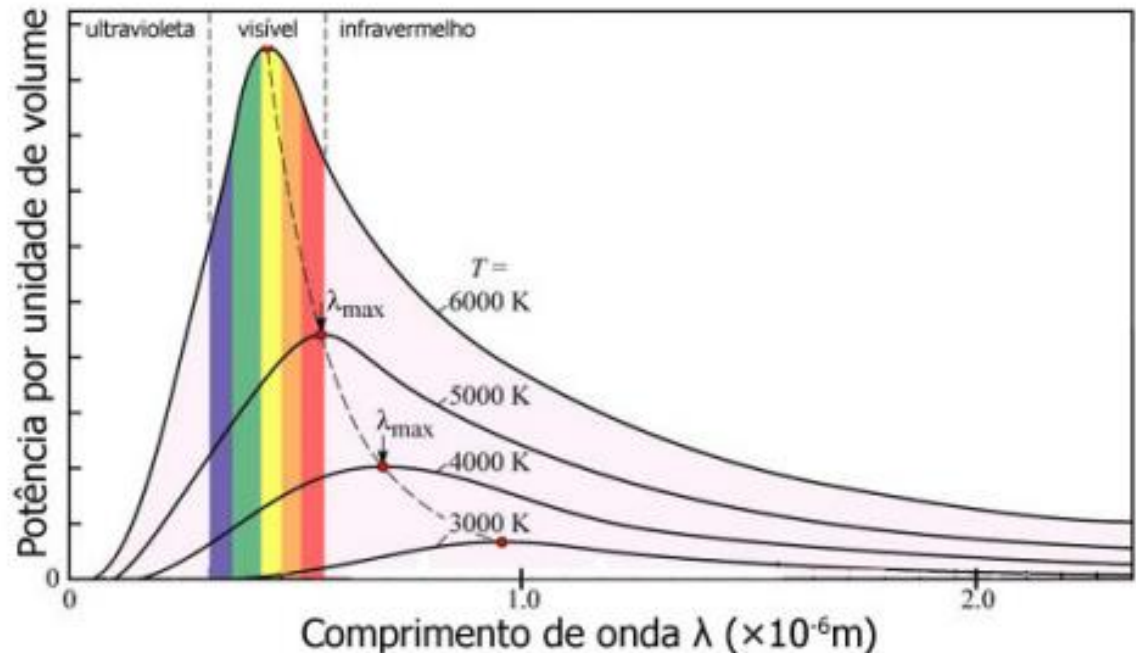
Lei de Stefan-Boltzmann

Todos os corpos emitem radiação e quanto maior sua temperatura, mais emitem. Isso é descrito pela Lei de Stefan-Boltzmann, que diz que um corpo negro (irradiador perfeito de radiação térmica) emite energia da forma:

Unidades:

[W / m²]

$$q = \varepsilon \sigma T^4$$



T - temperatura do corpo [Kelvin]

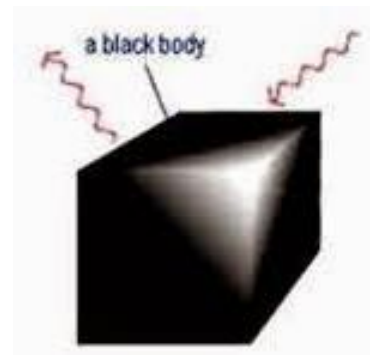
σ constante de Stefan-Boltzmann, unidades: $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \right]$

ε emissividade, depende da temperatura do corpo

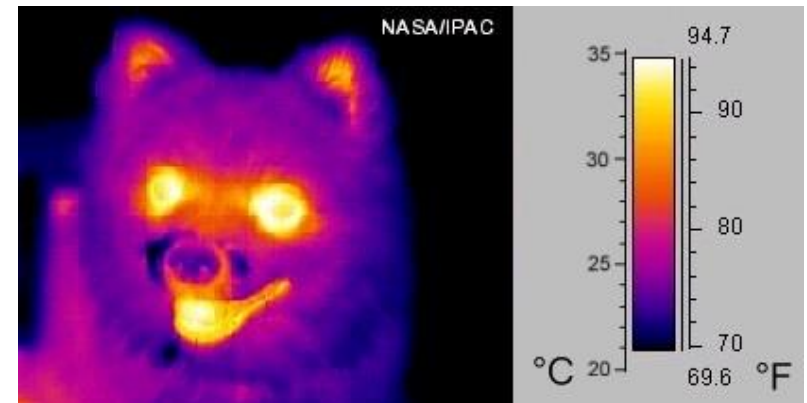
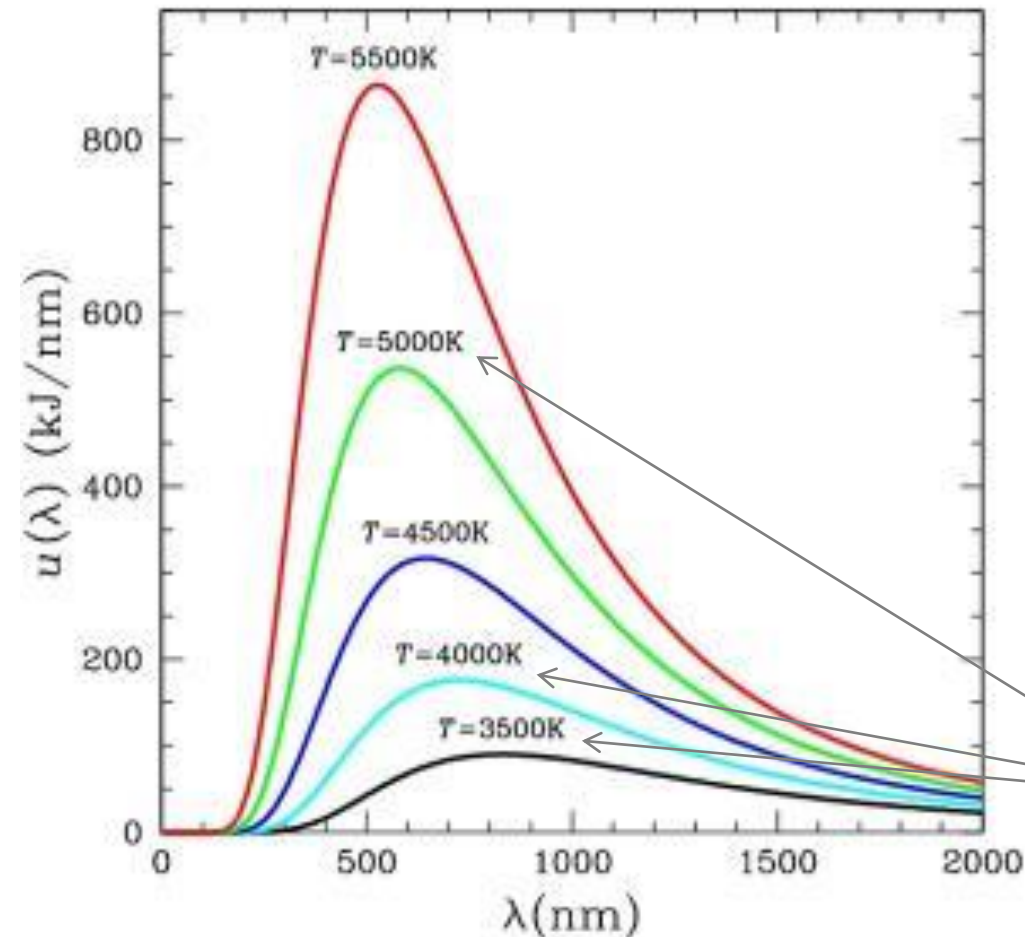
Para **corpo negro** $\varepsilon = 1$

Radiação de “Corpo Negro”

Acima da temperatura de zero Kelvin (nada está nessa temperatura) todos os corpos emitem radiação térmica. Isso é descrito pela Lei de Stefan-Boltzmann

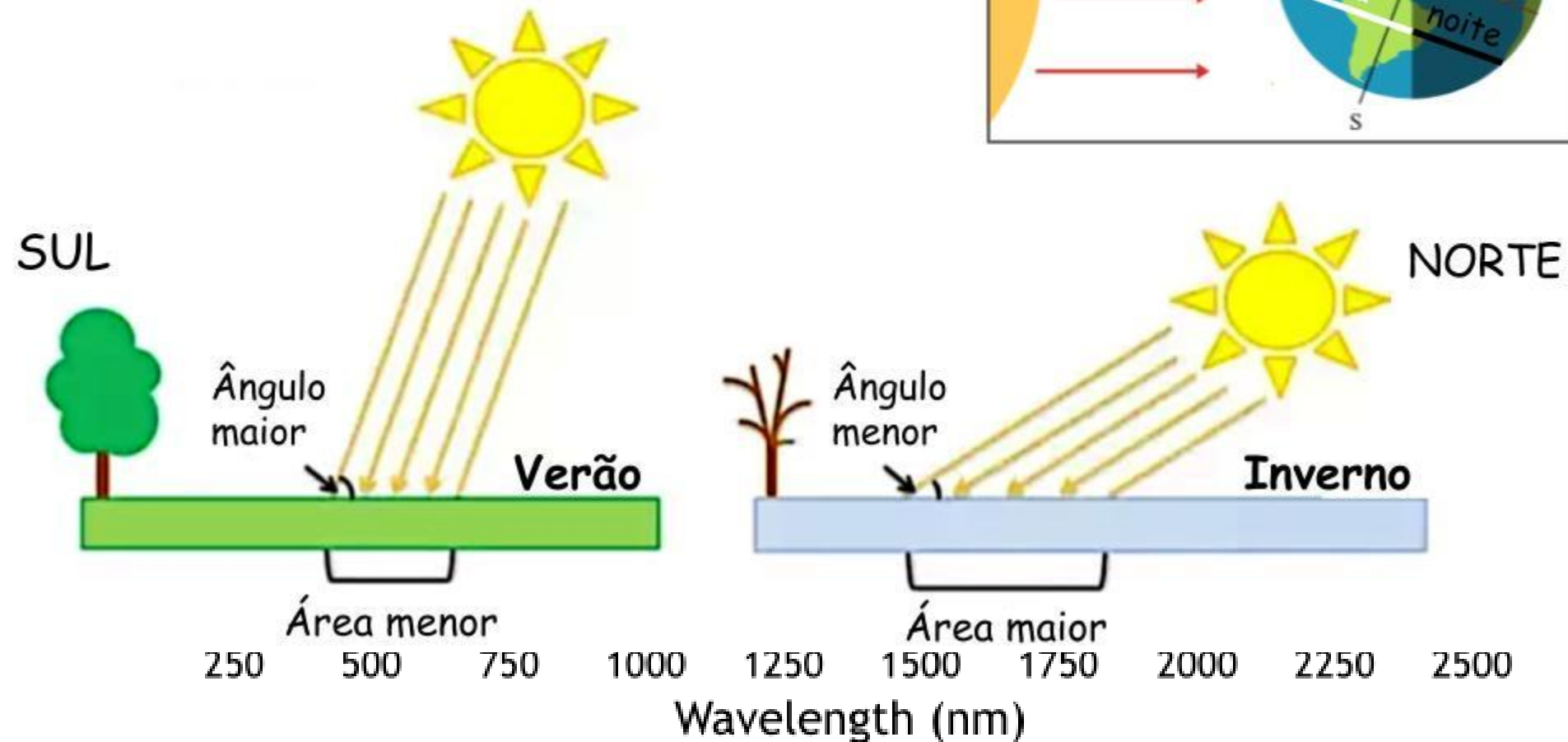
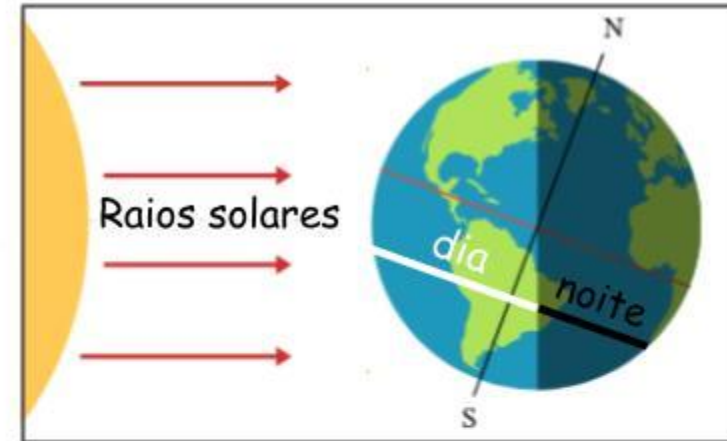


O **Corpo Negro** (Black Body) absorve toda a radiação incidente, e é capaz de emitir qualquer energia de fóton (ou: qualquer comprimento de onda de radiação)



Conforme a temperatura aumenta, o pico da radiação atinge menores comprimentos de onda.

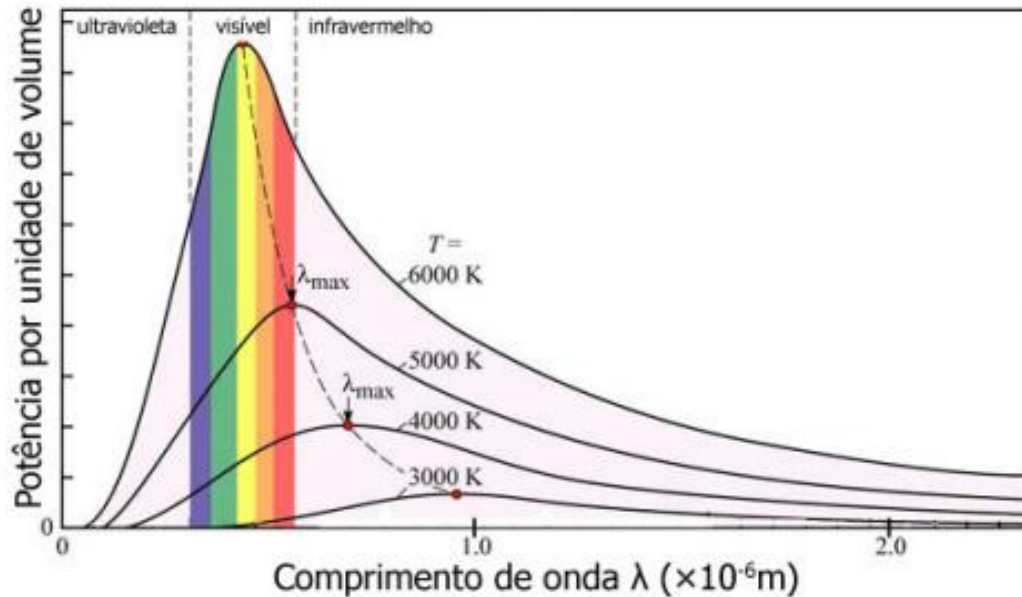
HEMISFÉRIO SUL



Lei de Wien

Wien descobriu que os pontos de máximo no gráfico são descritos pela equação:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$



onde λ_{\max} é o comprimento de onda (em metros) para o qual a intensidade da radiação eletromagnética emitida é máxima. T é a temperatura do corpo em kelvins, e b é a constante de proporcionalidade, chamada constante de dispersão de Wien, em m.K (metro x Kelvin). O valor dessa constante é $b = 2,8977685 \cdot 10^{-3}$ m.K

Lei de Planck

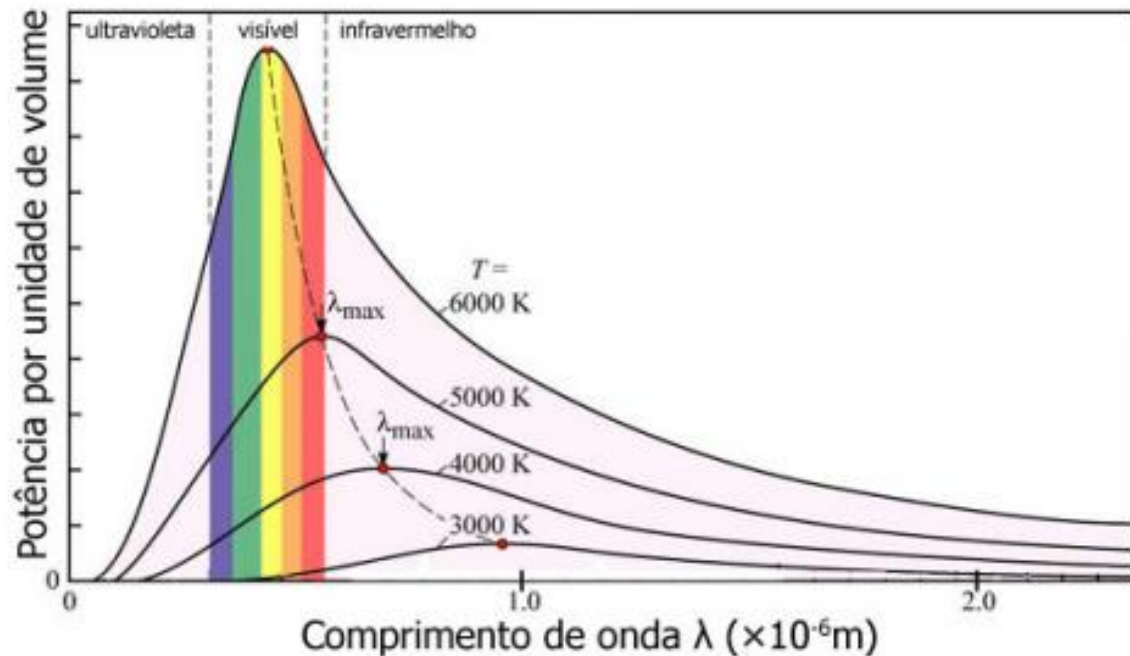


Max Planck
1858 -1947
Nobel Prize in Physics 1918

$$E = hf$$

Planck descobriu a fórmula matemática completa que descreve o gráfico abaixo:

$$u(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{\left(e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1\right)}$$



Planck: $E = hf$ (Constante de Planck $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$)

Resumo: Emissão térmica do Corpo Negro

*Lei de Planck da
Radiação Térmica*

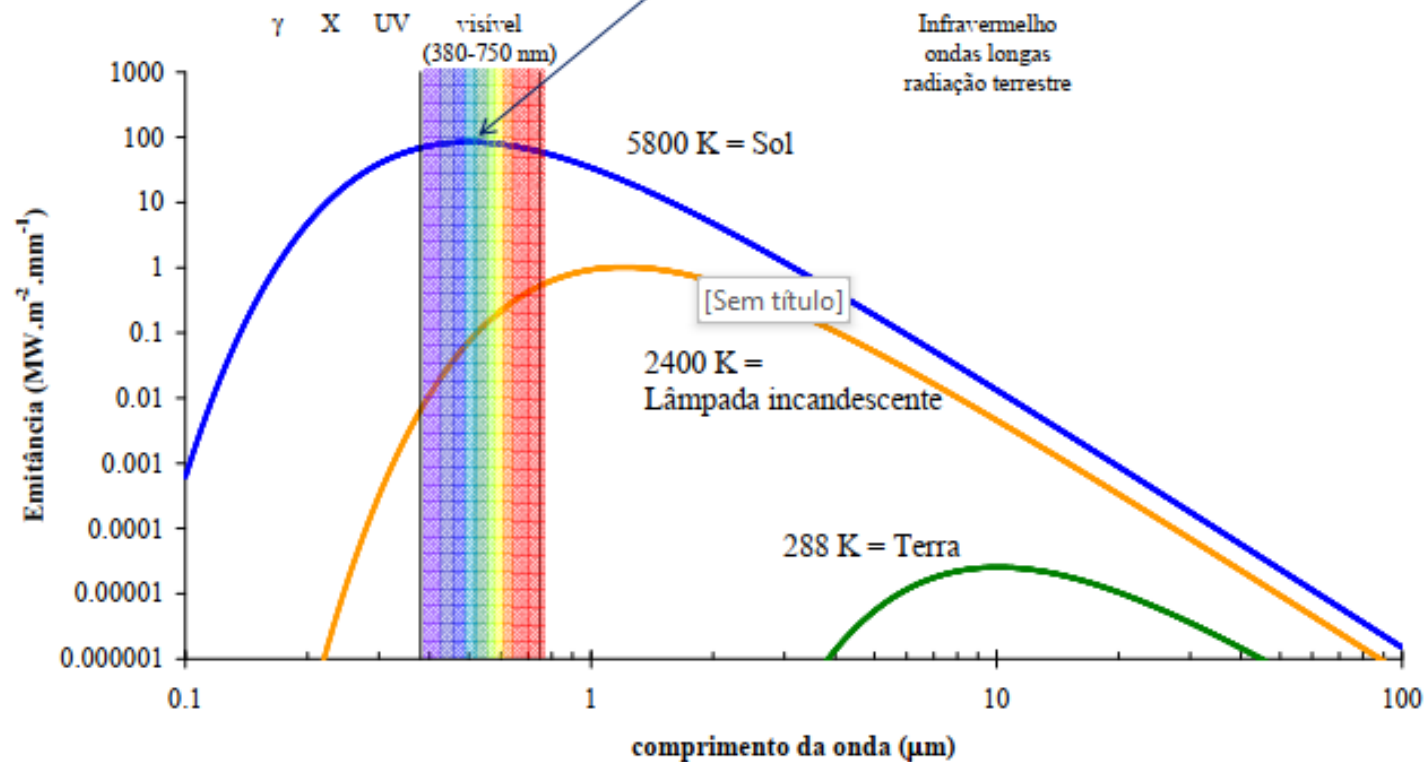
$$E_{\lambda} = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kt} - 1}$$

Lei de Wien

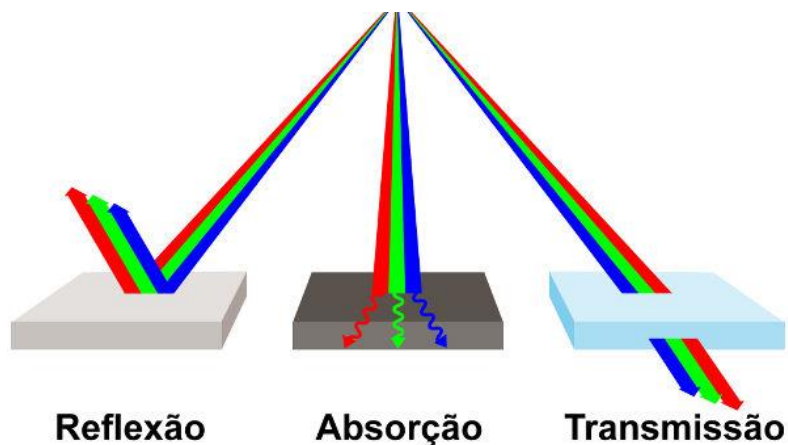
$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

*Lei de Stefan-
Boltzmann*

$$q = \sigma T^4$$



Absorção, Reflexão e Transmissão



A intensidade de cada um destes fenômenos depende de um conjunto de fatores:

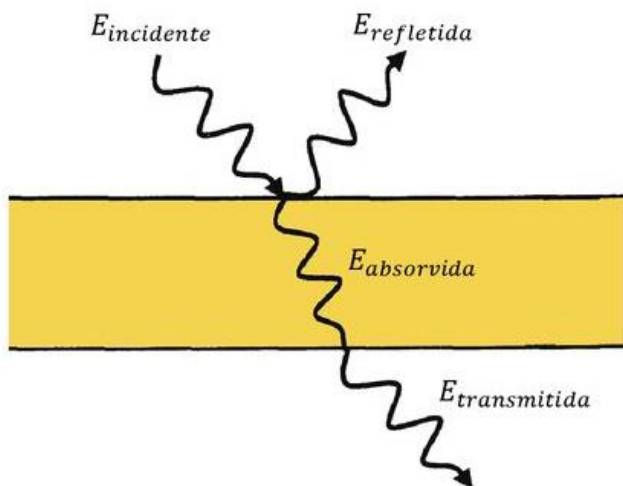
Propriedades da **onda (frequência)**;

Propriedades dos **meios de propagação envolvidos**;

Inclinação da onda relativamente à superfície.

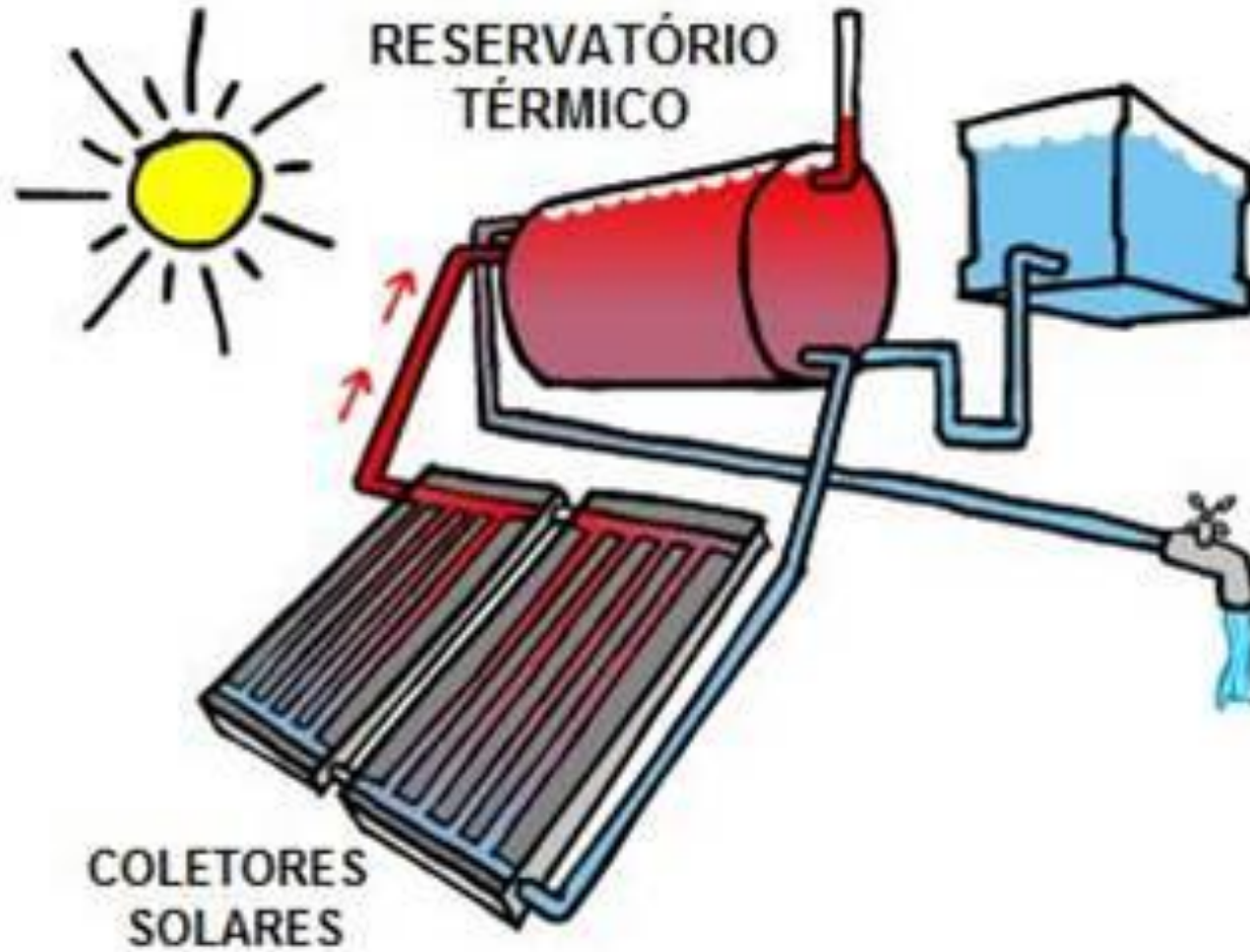
Há conservação de energia:

$$E_{\text{incidente}} = E_{\text{refletida}} + E_{\text{absorvida}} + E_{\text{transmitida}}$$

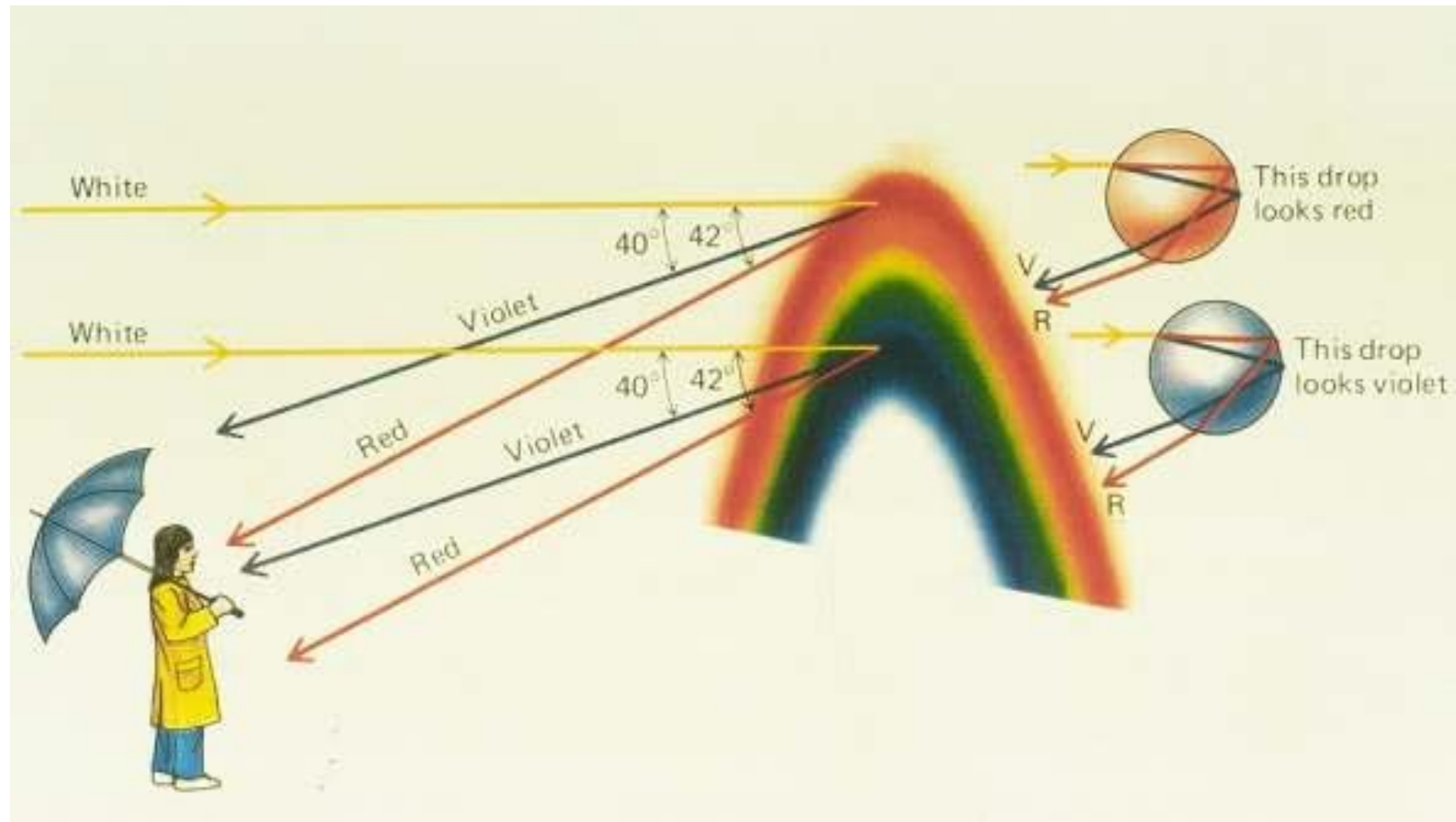


Lei de Kirchhoff: a absorvidade e a emissividade de um corpo são iguais, para um dado comprimento de onda.

Reservatório térmico

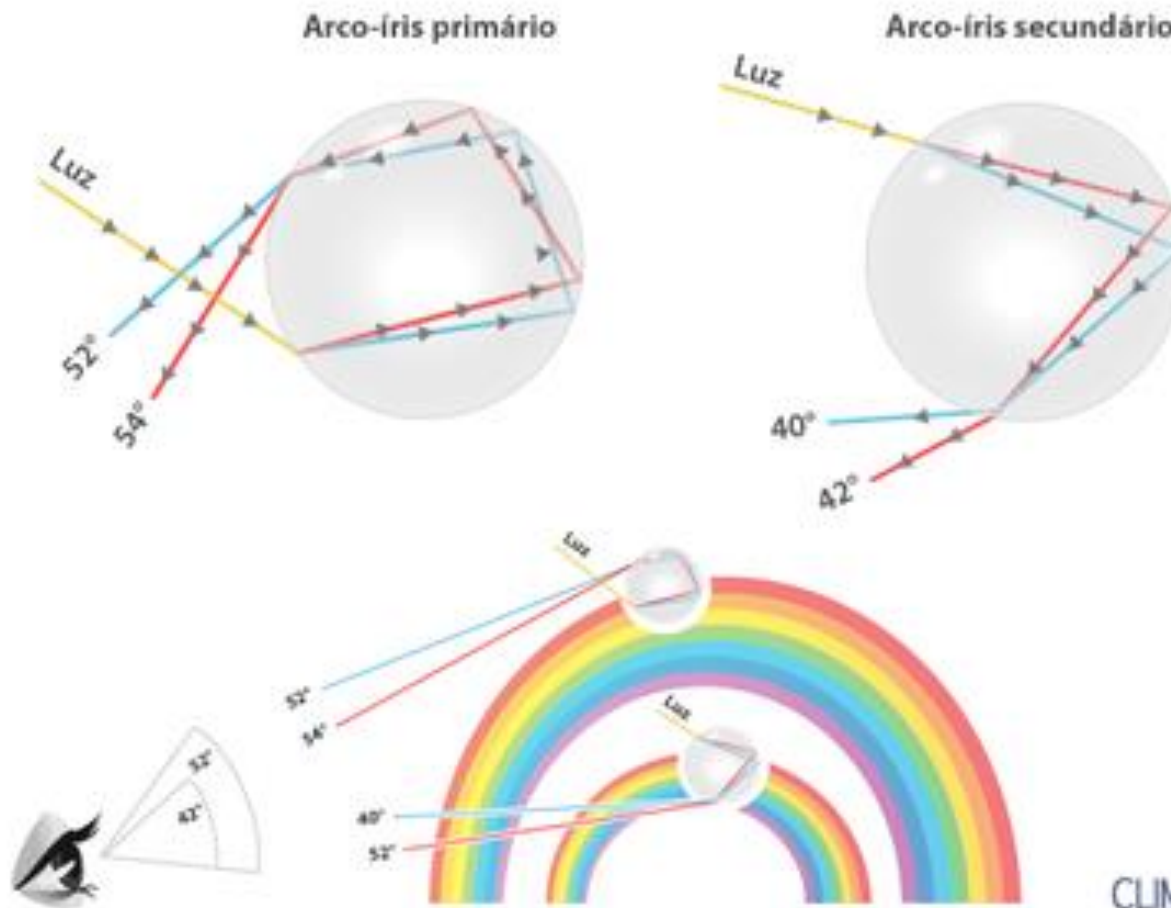


Arco íris

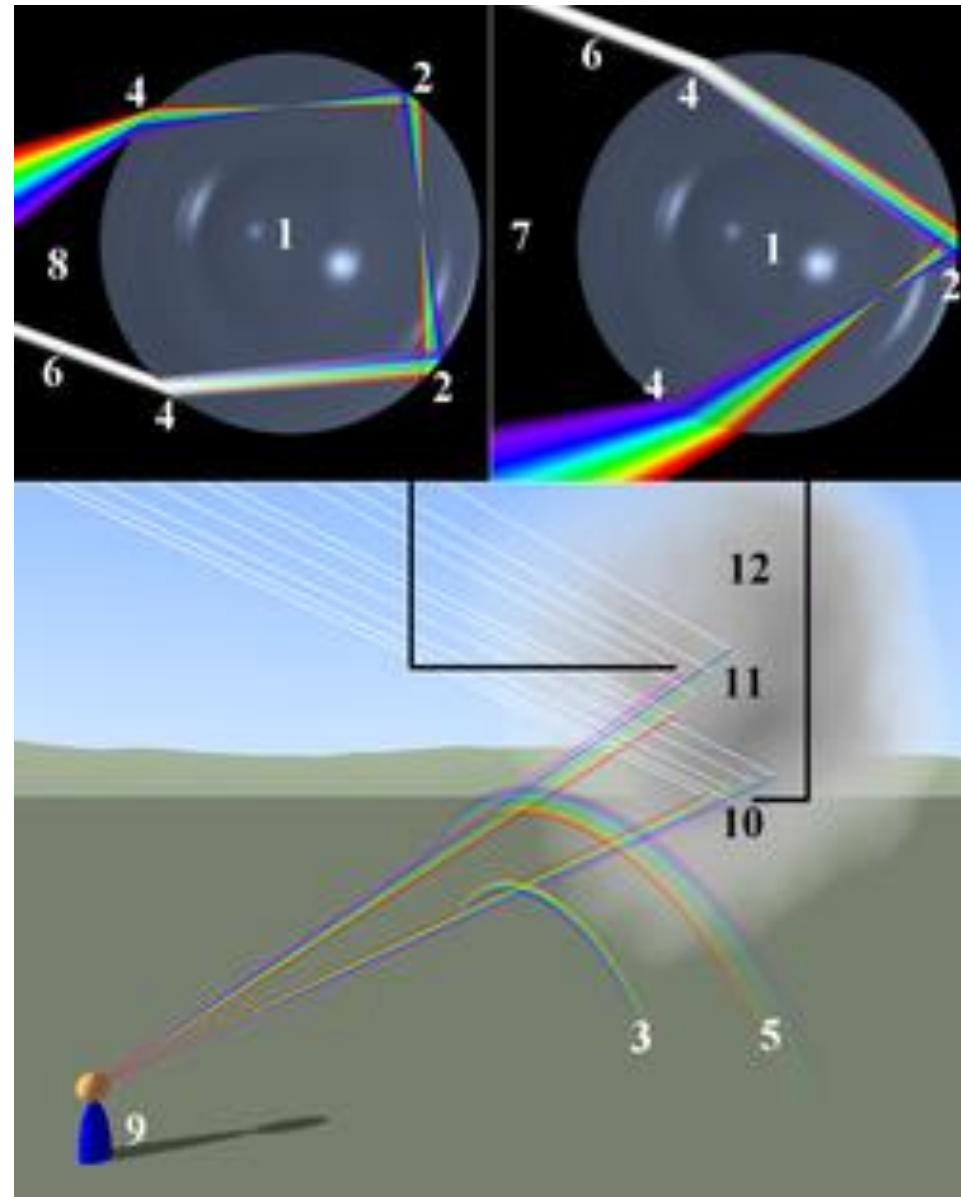


Arco íris duplo

FORMAÇÃO DO ARCO-ÍRIS

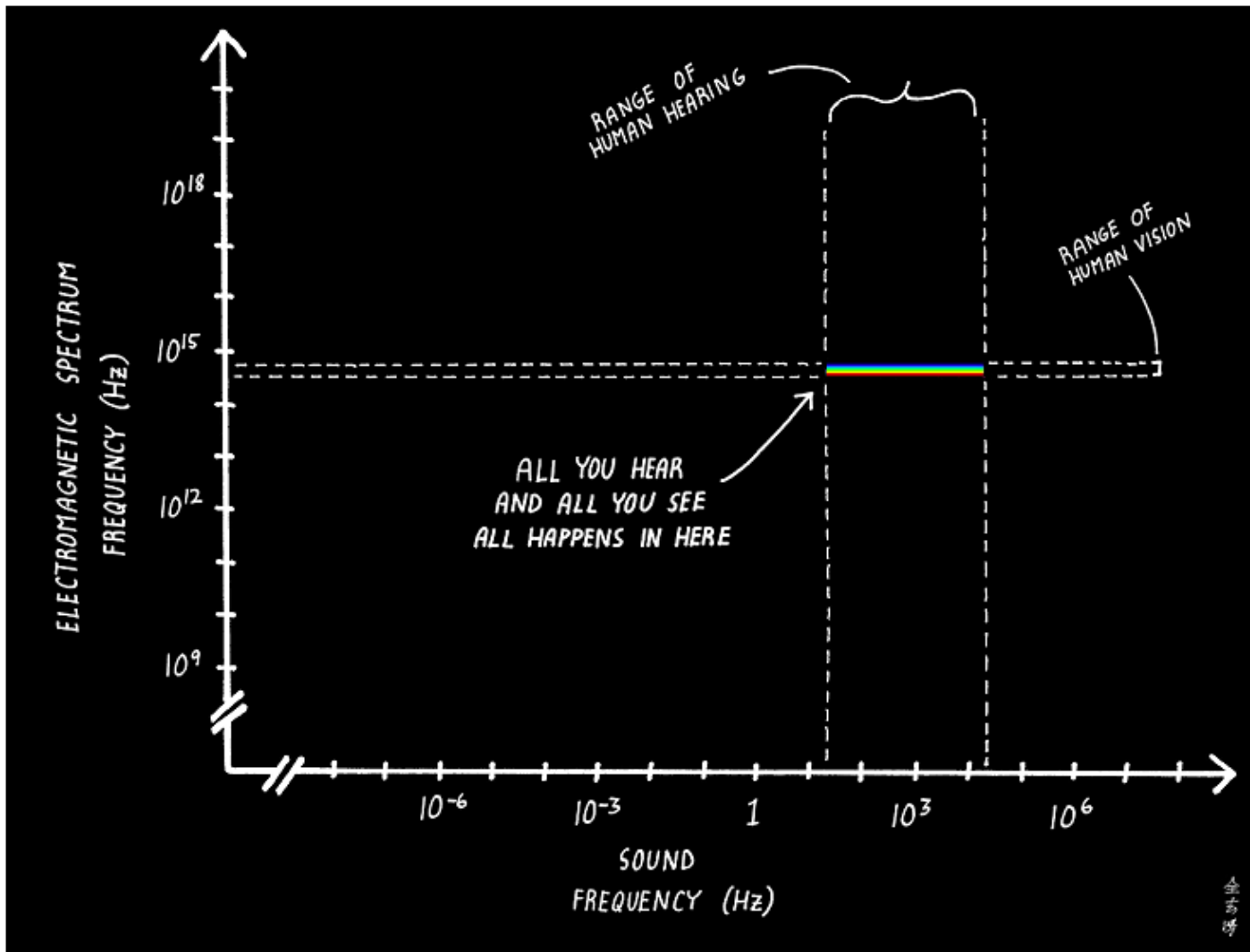


Arco íris



Efeitos mais raros..





In the grand scheme of things,
we're all pretty much blind and deaf.