

# Introdução

O nosso planeta está passando por um momento difícil. É possível observar através dos meios de comunicação notícias como: “*o aquecimento global está aumentando*”, “*o derretimento das geleiras está cada vez maior*”, “*o número de tempestades tropicais aumentou nos últimos anos*”, mas será que isso realmente está acontecendo? Será o Apocalipse? O fim do mundo está chegando? Em caso afirmativo, a humanidade é responsável por estas mudanças ou elas ocorreriam naturalmente?

Estes acontecimentos podem ser estudados mediante a utilização de conceitos da Física e a partir daí é possível ter uma visão mais crítica sobre essas questões. É isso que vamos fazer a partir de agora.

Nas próximas páginas vamos estudar alguns conceitos físicos, como por exemplo a absorção da luz, e analisar as suas relações com um importante fenômeno atmosférico: o efeito estufa. Assim poderemos compreender melhor um modelo sobre como ele funciona e posteriormente avaliar a implicação deste e outros fatores nas mudanças climáticas

---

## Parte 1

### O que é a Luz?

A luz é tratada como uma radiação eletromagnética, dotada de um caráter dual onda-partícula. Ou seja, a luz comporta-se como onda em algumas circunstâncias e em outras como partícula. Por exemplo, quando estamos trabalhando com lentes e precisamos analisar questões como reflexão e refração, é mais conveniente para nós trabalharmos considerando a luz como onda. Porém determinados fenômenos nós conseguimos explicar quando consideramos a luz como partícula, por exemplo o efeito fotoelétrico (*o efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons por um material, geralmente metálico, quando se incide luz de uma determinada cor sobre ele, sendo que os*

*elétrons não são emitidos devido a uma quantidade maior ou menor de fótons que incidem sobre o material, mas sim devido a energia que cada fóton transporta*). Podemos então imaginar a luz como sendo formada por vários “pacotes” de onda, denominados fótons, cuja energia ( $E$ ) depende da frequência da onda, segundo a equação:

$$E = h.f \quad (1)$$

onde  $h$  é a constante de Planck, que possui um valor de  $6,62 \times 10^{-34}$  J.s e  $f$  é a frequência da onda associada a luz. A energia também pode ser expressa em termos do comprimento de onda,

# Revisão

## Ondas

Você provavelmente já deve ter visto uma onda ou ouvido falar dela. O mar é uma fábrica constante de ondas e, você também pode ser, basta tocar a água com o dedo, por exemplo, e observar a oscilação que a mesma faz em torno da região tocada.

Uma onda pode ser definida como: “*Um sinal que se transmite no tempo e no espaço, com uma velocidade definida, usualmente com transferência de energia*”(wikipédia), por exemplo, quando você toca a água é, como se fosse passada à ela um pulso, o qual se propaga em todas as direções gerando uma onda. O som, por exemplo, é uma vibração que pode se propagar no ar, na água ou em sólidos, comprimindo e descomprimindo sucessivamente o meio material onde ocorre a propagação.

As ondas possuem algumas características básicas, as quais são:

- Comprimento de onda ( $\lambda$ ): em uma onda que se repete periodicamente no espaço, é a distância entre dois pontos correspondentes em dois ciclos sucessivos, normalmente medido entre picos ou canais (fig. 1)
- Período ( $T$ ): É o tempo necessário para que um determinado fenômeno volte a acontecer, isto é facilmente observável em objetos que possuem movimentos ditos como periódicos, ou seja, que se repetem ao longo do tempo (um relógio, por exemplo). Este conceito também é empregado para ondas, onde podemos afirmar que o período é o tempo que o ciclo de onda leva para se repetir em uma mesma posição (wikipédia).
- Frequência ( $f$ ) corresponde ao número de vezes que algo se repete por unidade de tempo. Portanto, se dividirmos a unidade de tempo pela frequência, obtemos o período:

$$T = 1/f \quad (2)$$

ou

$$f = 1/T \quad (3)$$

- Relembrando a idéia de velocidade média ( $v = \Delta S/\Delta T$ ), onde  $\Delta S$  é a variação de espaço e  $\Delta T$  a variação de tempo, podemos aplicar tal conceito e encontrar a velocidade de uma onda:

$$v = \lambda T \quad (4)$$

podemos também utilizar a equação (2) em (4), encontrando

$$v = \lambda \cdot f \quad (5)$$

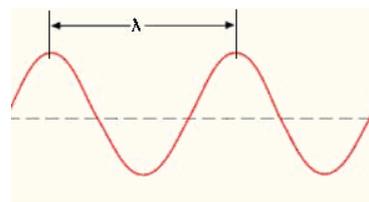
que é a forma mais utilizada da equação da velocidade da onda.

### Fazendo Experiências

#### Experiência 1 – Criando uma Onda

“Pegue uma corda e peça para o seu colega segurar uma das pontas, enquanto você segura a outra. Afastem-se de modo que a corda permaneça bem esticada. Agora balance a corda de cima para baixo uma vez e, observe que isso ocasionará uma elevação (pulso), que irá se propagar de uma extremidade a outra da corda”.

Figura 1 – Onda – fonte: Wikipédia



combinando a equação (1) com a equação (5):

$$E = h.f \quad (1)$$

$$v = \lambda .f \quad (5) \rightarrow f = v/\lambda \quad (5)$$

Portanto podemos escrever que:

$$E = h.(v/\lambda) \quad (6)$$

## O que é um espectro?

No século XVII, Isaac Newton, utilizou um prisma, sobre o qual ele fez incidir luz solar, sendo que a luz ao atravessar o prisma era decomposta em um conjunto de cores (fig-3.a), demonstrando assim que a luz branca é uma composição de todas as outras cores. Uma demonstração deste fenômeno pode ser feita com a realização da experiência 2, onde a luz branca ao entrar em contato com o CD sofrerá difração e assim se dividirá em diversas cores, ou seja, exibe as cores que estavam “ocultas”, e que chamamos de espectro. Isto também acontece com as substâncias quando aquecidas - o cobre, por exemplo, aquecido em uma chama emite uma luz esverdeada que chamamos espectro do cobre. A palavra espectro relaciona-se a idéia de fantasma, ou seja, algo imaterial, como alma, espírito, que costuma surpreender as pessoas que os observam

### Fazendo Experiências

#### Experiência 2 – Brincando com o Espectro

##### MATERIAL:

1. Um CD-R
2. Uma lanterna;

##### COMO FAZER:

1. Mire a lanterna frontalmente ao CD. Em seguida varie a inclinação da lanterna em relação ao CD.

##### O QUE ACONTECE?

1. Como explicar aquilo que você viu?

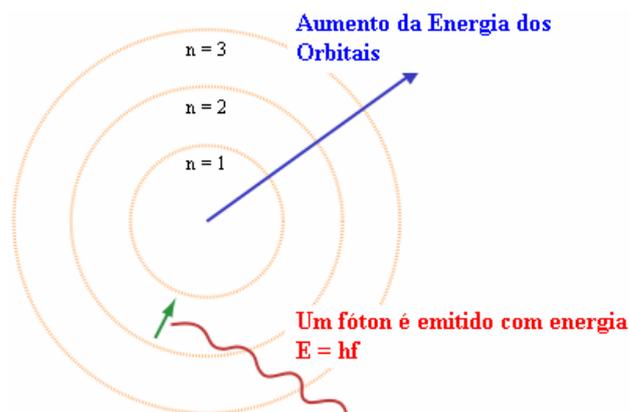


Figura 2 – Átomo de Bohr – fonte: Adaptado do Wikipédia

conseguem enxergar. Há muitas outras radiações eletromagnéticas que são “ocultas”, ou seja, que nós não conseguimos ver diretamente. Mas nós podemos percebê-las indiretamente. Por exemplo: 1) nós não vemos as radiações geradas pelos fornos de micro-ondas, mas sabemos que elas aquecem os alimentos; as ondas de TV também não são visíveis, porém os aparelhos de TV as captam; as chapas de raios-x registram a radiação que passa pelo nosso corpo e que também não vemos. Os espectros que conseguimos enxergar estão contidos em uma região denominada “zona do visível”, onde o comprimento de onda varia, aproximadamente, de 400 nm até 700 nm.

Enfim todo esse conjunto de radiações eletromagnéticas forma o espectro eletromagnético.

Cada elemento químico tem um espectro característico, o qual pode ser de absorção (quando a luz é absorvida, na transição do elétron para camadas superiores -fig. 2-, ou até mesmo para sair totalmente do átomo – fig. 3.c) ou de emissão (quando a luz é emitida na transição de elétrons para camadas inferiores – fig. 2 e fig. 3.b). Neste caso o espectro não tem todas as cores, mas somente as linhas com as cores associadas às mudanças de energia que os elétrons podem realizar no átomo daquele elemento químico, e que formam seu espectro característico.

Os compostos químicos também têm seus estados de energia característicos, e as transições de um

primeira vez.

A luz é uma radiação eletromagnética que nossos olhos

estado para outro envolvem a emissão ou absorção de fótons com energias definidas (ou comprimento de onda).



Figura 3.a – Espectro Contínuo – fonte: Wikipédia



Figura 3.b – Espectro de Emissão – fonte: Wikipédia



Figura 3.c – Espectro de Absorção – fonte: Wikipédia

Cor	Comprimento de onda
vermelho	~ 625-740 nm
laranja	~ 590-625 nm
amarelo	~ 565-590 nm
verde	~ 500-565 nm
ciano	~ 485-500 nm
azul	~ 440-485 nm
violeta	~ 380-440 nm

Tabela 1 – Comprimentos de Onda – Fonte: Adaptado Wikipédia

A partir da tabela 1 é possível observar a relação entre a energia e as cores. A luz mais energética tende para o violeta, enquanto a menos energética tende para a cor vermelha.

## *Fazendo Experiências*

### *Experiência 3- Incendiando com o Retroprojektor*

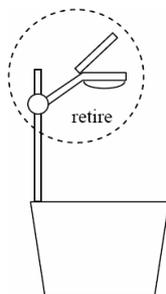
#### **MATERIAL:**

1. Duas folhas de papel em branco
2. Uma caneta hidrográfica preta
3. Um Retroprojektor

#### **COMO FAZER:**

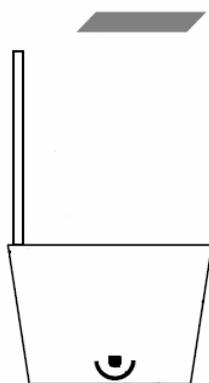
1 Pinte uma das folhas com a caneta hidrográfica, de modo a não deixar espaço em branco.

2.



*Figura 4 – Retroprojektor – fonte: Catelli, 2006*

3. **(Muito Cuidado!!! Este experimento gera fogo no papel!!!)** Com o retroprojektor ligado, coloque inicialmente a folha de papel branca sobre o retroprojektor em uma altura um pouco acima de onde fica posicionada a lente (figura 5). Mantenha o papel nesta posição por uns quarenta segundos. Posteriormente, coloque o papel pintado de preto na mesma posição (**MUITO CUIDADO!!!!** Não posicione o rosto sobre o retroprojektor).



*Figura 5 – Posição da Folha em Relação ao Retroprojektor – fonte: Catelli, 2006*

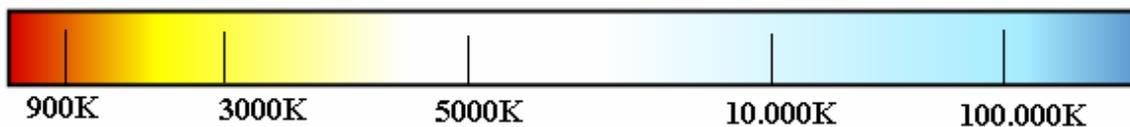
#### **O QUE ACONTECE?**

1. Qual a diferença entre colocar um papel claro ou um papel escuro?
2. Como você explica este fenômeno?
3. Cite um lugar onde este fenômeno pode ser observado.

# Corpo Negro

Um corpo em qualquer temperatura emite radiações eletromagnéticas. Por exemplo, “sentimos” a emissão de um ferro elétrico ligado, mas não enxergamos as radiações por ele emitidas. Isso acontece porque em baixas temperaturas a maior taxa de

Veja, portanto, que na física nós chamamos de “corpo negro” um corpo com essas propriedades de absorção e emissão de radiação. Não necessariamente nós o vemos preto. A cor que nós o veremos dependerá de sua temperatura e de nossa capacidade de enxergar a radiação que ele emite. Nossos olhos são capazes de ver apenas uma faixa muito pequena da radiação eletromagnética. O Sol, por exemplo, é parecido com um corpo negro a  $6000^{\circ}\text{C}$ .



**Relação entre Cor e Temperatura**

emissão está na faixa do infravermelho (maior comprimento de onda).

Aumentando-se gradativamente a temperatura de um corpo, ele começa a emitir uma luz cada vez mais energética (menores comprimentos de onda) e brilhante.

Para poder realizar o estudo das radiações emitidas foi proposto um modelo idealizado, denominado *corpo negro*. A imagem mais simples de um corpo negro é o de uma pequena abertura num objeto oco (fig. 7). Qualquer radiação que entra não consegue mais sair de volta, pois vai sendo refletida e absorvida nas paredes, até que acaba por ser completamente absorvida. O corpo negro absorve toda radiação que nele incide, daí ser chamado de negro.

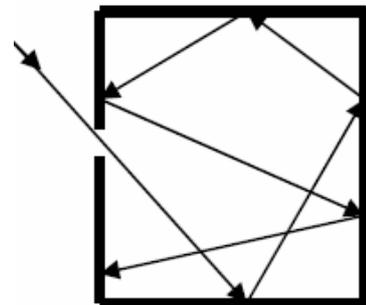
Por outro lado, se esse objeto oco for aquecido por uma fonte de calor no seu interior, ele emitirá radiação pelo orifício, e a cor predominante que veremos será conforme indicado na figura 6. Qualquer radiação que esteja dentro da cavidade e que atinja o orifício escapará por ele sem oposição. Por isso o corpo negro também é o melhor emissor de radiação.

*Figura 6 – Cor emitida a uma dada temperatura - fonte: Wikipédia*

O planeta Terra, também pode ser aproximado por um corpo negro que está à

temperatura média da superfície terrestre.

A figura 8 nos mostra algumas curvas de emissão de radiação para um corpo negro, sendo que para cada curva está associada uma temperatura diferente. A região do pico é a parte que corresponde a luz emitida pelo corpo, portanto é possível observar que para o aumento de temperatura, temos uma diminuição do comprimento de onda e, aproximação da luz para o violeta (como mostra a tabela 1) e, quanto menor a temperatura mais a luz emitida se aproxima do vermelho (isto também é observável na tabela 1 e na figura 6).



*Figura 7 – O buraco em uma cavidade oca é um Corpo Negro padrão - fonte: Wikipédia*

É possível observar que:

- “Aumentando-se a temperatura, para um dado comprimento de onda, a intensidade da radiação aumenta”.

- “Aumentando-se a temperatura, o pico da distribuição se desloca para comprimentos de onda menores”.

Uma informação que vamos precisar para estudar a Terra como corpo negro, é a intensidade de radiação que ela emite. Olhando ainda a figura-8, a intensidade total da radiação emitida em todos os comprimentos de onda é igual a área embaixo da curva correspondente a cada temperatura. Esse valor pode ser calculado pela **lei de Stefan-Boltzmann**, que fornece a intensidade da potência

total  $E$  da radiação emitida por unidade de área (energia por unidade de área e de tempo):

$$E = \sigma \cdot T^4 \quad (7)$$

onde  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$  é a constante de Stefan-Boltzmann.

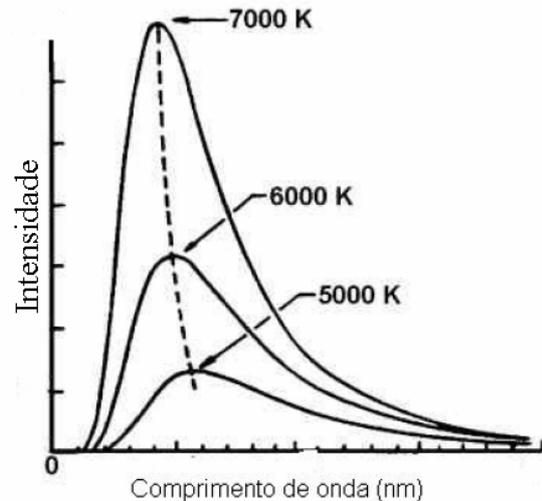


Figura8 – Intensidade da radiação de Corpo Negro em função do Comprimento de Onda, para três temperaturas diferentes.  
Fonte: wikipédia

### Exercício

Nosso corpo está a  $36,5^\circ \text{ C}$  (ou  $309,5 \text{ K}$ ) e irradia  $\sigma \cdot T^4$  para o ar. O ar está a uma temperatura de  $25^\circ \text{ C}$  (ou  $298 \text{ K}$ ) e irradia  $\sigma \cdot T^4$  para nós. Se o ar estiver acima de  $36,5^\circ \text{ C}$ , recebemos radiação (calor) dele. Se estiver abaixo, o ar é que recebe nosso calor. Qual o calor líquido que perdemos se o ar estiver a  $25^\circ \text{ C}$ ?

# Para se divertir em casa

O espectroscópio é um instrumento que permite decompor luz emitida por um corpo em suas diferentes cores. Um elemento dispersivo (prisma ou rede de difração) colocado no seu interior decompõe a luz que incide sobre a fenda de entrada, produzindo um espectro na região de saída. Que tal construir um?

## Materiais

- Uma caixa de Pasta de dente;
- Um pedaço de CD retangular com aproximadamente (2cm x 3cm), o qual será usado como rede de difração;
- Cola;
- Um pedaço pequeno de isopor, ou algum outro objeto para dar suporte a rede de difração;

Obs: A parte do CD que deve ser usada como rede de difração é a parte onde estão as trilhas (região gravável), portanto esta parte deve ficar para cima, com as costas grudadas no isopor.

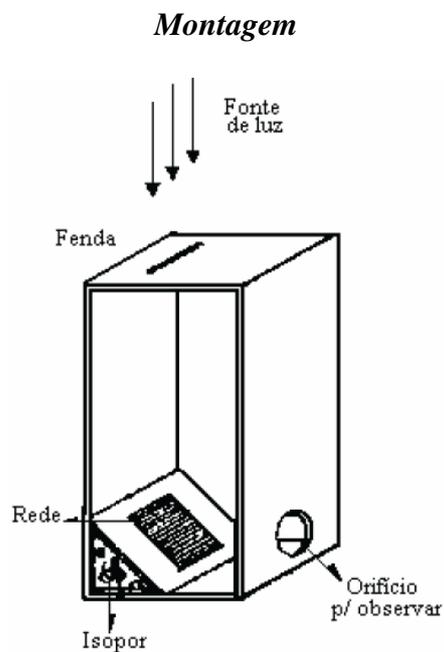


Figura 9 - Montagem do Espectroscópio – fonte: Garcia, 1994

**Utilize o seu espectroscópio para observar a luz emitida por lâmpadas fluorescentes e incandescentes e, depois comente as diferenças e semelhanças.**

# Parte 2

## A temperatura no Planeta

Você já parou para pensar como é regulada a temperatura no nosso planeta? Quais seriam os fatores que influenciam sua determinação?

Para respondermos estas perguntas devemos primeiro lembrar que o Sol é a principal fonte de energia para o nosso planeta e depois estudar um modelo de como o Sol e a Terra trocam radiação (calor). Este modelo é chamado de balanço energético, nele consideramos o Sol e a Terra como corpos negros, portanto podemos expressar a radiação emitida pela Terra, através da equação (6):

$$E = \sigma \cdot T^4 \quad (7)$$

e, considerando que a Radiação solar absorvida pela Terra é dada por:

$$E_A = S(1-\alpha)/4 \quad (8)$$

Onde:

\*  $S$  representa a constante solar (taxa de radiação solar que chega acima da atmosfera terrestre, por unidade de área). Ela possui um valor que varia aproximadamente entre 1365 e 1372  $W \cdot m^{-2}$ . Este valor é medido em satélites que ficam acima da atmosfera terrestre.

\* O fator  $1/4$  é devido a distribuição da energia solar sobre a superfície da Terra. A figura 10 permite uma melhor compreensão da idéia. O disco da Terra que intercepta a radiação solar tem área  $\pi R^2$ . Multiplicando a constante solar por esta área, temos a energia coletada pela terra. Mas esta energia se distribui pela superfície esférica da Terra ( $4\pi R^2$ ). Portanto, a energia solar média que efetivamente se distribui na superfície da Terra é:

$$(S\pi R^2 / 4\pi R^2) = 1/4 S.$$

\*  $\alpha$  corresponde ao valor do Albedo Terrestre.

Considerando que o sistema está em equilíbrio dinâmico (a entrada de energia equivale a saída), podemos igualar as equações 7 e 8 para encontrar a temperatura média da Terra. Logo:

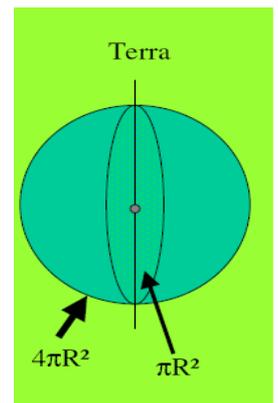


Fig. 10 - Notas de Aula de Física da Poluição do Ar 2009

### Fazendo Experiência

#### Experiência 4. Atiçando a curiosidade

##### Material

- Dois Copos de Vidro;
- Água;
- Uma Caixa de Sapato;
- Um Abajur;
- Dois metros de filme plástico

##### Procedimento

Coloque um copo com água dentro da caixa de sapato e, deixe o outro posicionado na parte de fora. Vede a caixa e, ligue a luz sobre o conjunto (caixa-copo). Agora é só aguardar alguns minutos.

Em breve vamos analisar o que acontece...

$$\sigma \cdot T^4 = S(1-\alpha)/4 \Rightarrow T^4 = S(1-\alpha)/(4 \cdot \sigma)$$

Substituindo acima os valores das constantes conhecidas, temos:

$$T^4 = 1368,5 \times (1 - 0,3) / (4 \times 5,67 \times 10^{-8}) \Rightarrow T = 255K$$

Como a temperatura em graus Celsius (°C) é a temperatura em Kelvin menos 273

$$T = 255 - 273 = -18^\circ C.$$

Portanto encontramos uma temperatura de: -18° C. Mas essa não é a temperatura média da Terra, que é de aproximadamente +14,5° C. Será que erramos nas contas?

**?O que é Albedo?????????????????**

?É a fração da radiação que chega

? a um corpo e, que ele reflete. O

? Albedo Terrestre é estimado em

? 0,3 (ou 30%, se expresso em

? porcentagem).

????????????????????????????????????

# O Efeito Estufa

No século XIX o cientista Jean Baptiste Fourier (1768-1830), imaginou que um fenômeno similar ao que acontece nas estufas, para cultivo de plantas, aconteceria na atmosfera da Terra e por isso tal fenômeno foi denominado **Efeito Estufa**.

## Como ocorre o Efeito Estufa?

A radiação emitida pelo Sol possui uma parte que é absorvida pela superfície

terrestre aquecendo-a, outra é refletida para o espaço (Albedo) e, uma outra fração é absorvida em pequena quantidade por alguns gases da atmosfera.

Aquecida pela radiação vinda Sol, a superfície terrestre emite a sua própria radiação para a atmosfera, sendo que esta é absorvida, em grande quantidade, por alguns gases

**Voltando à Experiência 4**  
Agora remova o lacre da caixa e, meça com o toque a temperatura na água dos copos. Há alguma diferença? Em caso afirmativo, porque isso aconteceu?



Figura 11 – O Efeito Estufa – fonte: IPCC 2007

da atmosfera, os quais são denominados **gases estufa**.

Esses gases aquecidos reemitem radiação que em parte escapa para o espaço e em parte volta para a terra. Isso eleva a temperatura da Terra dos  $-18^{\circ}\text{C}$ , obtidos anteriormente, sem considerar a presença da atmosfera, para os  $14,5^{\circ}\text{C}$  que correspondem à temperatura média terrestre. Portanto o *efeito estufa* é fundamental para a manutenção da vida como nós a conhecemos hoje.

### **Gases Estufa**

Como dito anteriormente, gases estufa são aqueles que absorvem pouca radiação solar e retêm na atmosfera a radiação emitida pela Terra.

Os principais gases estufa são:

\* **Vapor de água.** É o principal gás estufa. Possui uma concentração na atmosfera de aproximadamente 3000ppm. É gerado principalmente através da evaporação das águas dos oceanos, rios e lagos.

\* **CO<sub>2</sub>** . Possui uma concentração na atmosfera de aproximadamente 345 ppm e um tempo de residência de 7 anos (Ramanathan, 1985). É gerado através da queima de combustíveis, nas emissões dos carros, queimadas e também, por formas naturais, como, por exemplo, a respiração e a decomposição de matéria orgânica por bactérias.

\* **CH<sub>4</sub>** : Possui uma concentração na atmosfera de aproximadamente 1,7 ppm e um tempo de residência de 10 anos (Ramanathan, 1985). É obtido através de atividade micro-orgânica, queima incompleta de biomassa e gás natural.

? **O que é Tempo de Residência** ???

?é o tempo em que o gás fica ?

?disperso na atmosfera., Portanto, ?

?mesmo que todas as fontes ?

?emissoras de CO<sub>2</sub> no planeta ?

?parem a partir de hoje, seria ?

?necessário um período de ?

?aproximadamente sete anos para ?

?que o CO<sub>2</sub> sumisse da atmosfera. ?

????????????????????????????????????????

\* **N<sub>2</sub>O** : Possui uma concentração na atmosfera de aproximadamente 0,3 ppm e um tempo de residência de 170 anos (Ramanathan, 1985). É gerado pela ação bactericida nos solos, fertilizantes.

\* **CFC**: Existem vários tipos. Em média possuem uma concentração de aproximadamente 0,0002 ppm. O tempo de residência varia com o tipo. O CF<sub>2</sub>CICF<sub>2</sub>Cl (CFC – 114), por exemplo, possui um tempo de residência de 300 anos (Ramanathan, 1985). São muito utilizados em sprays, motores de aviões, plásticos e solventes utilizados na indústria eletrônica.

\* **Ozônio**: é resultado de reações fotoquímicas. Próximo à superfície terrestre é gerado especialmente por gases emitidos pelos veículos.

A figura 12 nos permite uma melhor compreensão da relação efeito estufa e radiação. Ela é composta por dois gráficos. No primeiro (parte superior – A), está representada a faixa de radiação emitida pelo Sol (6000 K) e pela Terra (255 K), enquanto que na parte inferior (B) há um gráfico que indica o nível de absorção de cada gás em relação ao comprimento de onda da radiação, marcado na faixa entre os gráficos.

?**O que significa ppm**????????????????

?ppm que dizer "partes por ?

?milhão.Exemplo: se tenho 345 ?

?ppm de CO<sub>2</sub> no ar, quer dizer que?

?em cada 1 milhão de litros de ar, ?

?há 345 litros de CO<sub>2</sub>. ?

????????????????????????????????????

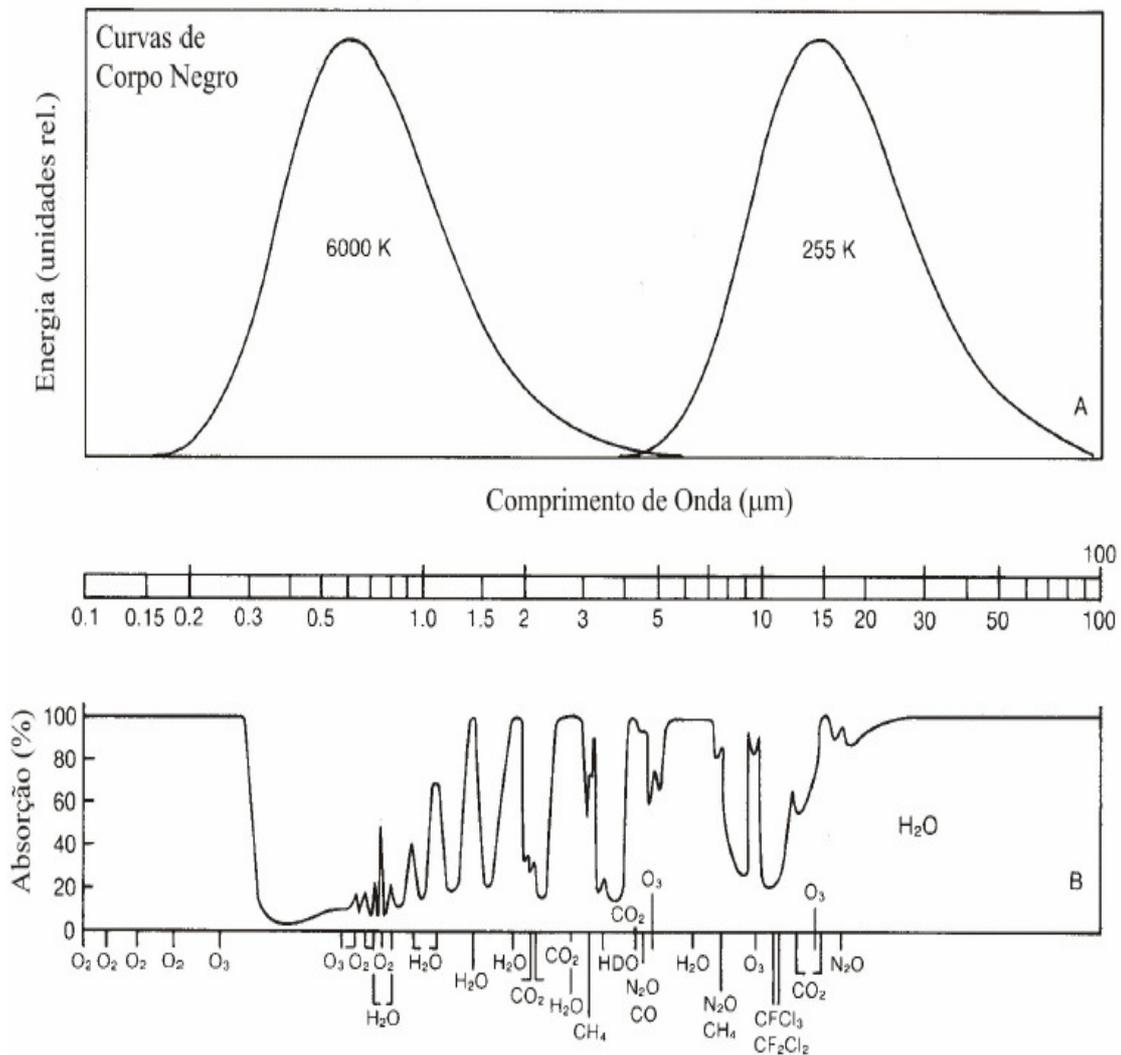


Figura 12 – Absorção de Radiação para alguns gases – fonte: Notas de Aula do curso de Física da Poluição do Ar

Na região correspondente ao Sol (primeiro pico), é possível observar que os gases estufa, indicados acima, possuem uma baixa absorção, a menos do oxigênio e do ozônio que absorvem muito ultravioleta na camada de ozônio, a cerca de 30 km de altitude. Enquanto isso, na

faixa da radiação emitida pela Terra, estes mesmos gases (principalmente o vapor d'água) possuem uma alta absorção e estão relativamente próximos a superfície da terra.

# Parte 3

**N**a parte anterior, vimos a importância que o efeito estufa tem na manutenção da vida, como a conhecemos, no nosso planeta, devido ao aquecimento adicional da superfície terrestre que ele proporciona. Mas e as possíveis alterações climáticas? Será que o clima

do nosso planeta realmente está mudando?

O clima é um sistema complexo, caracterizado pela medida de diversas variáveis (insolação, temperatura, umidade, pressão, tipo de nuvens, quantidade de chuva, ventos, etc). Isto torna muito difícil a sua análise, compreensão e previsão de comportamento futuro, sendo que existem diversos fatores que podem contribuir para uma possível alteração do clima. Abaixo vamos analisar alguns deles.

## **Intensificação do Efeito Estufa**

Conforme estudamos anteriormente, o efeito estufa é um aquecimento da superfície do planeta devido à presença de uma atmosfera com gases que absorvem e emitem radiação infravermelha. Mas e se a quantidade de gases estufa aumentasse muito na atmosfera, o que iria acontecer?

O homem ao longo de sua existência sempre modificou a natureza segundo seus interesses. Porém ao longo dos séculos a população humana foi crescendo rapidamente e essas modificações tornaram-se cada vez mais ferozes, principalmente do século XVIII em diante, quando ocorreu a primeira revolução Industrial. Nessa época houve

uma intensificação da queima de combustíveis fósseis para a geração de energia em diversos setores, o que parece ser responsável por um expressivo acréscimo de gases estufa na atmosfera.

Atualmente os países desenvolvidos possuem um grande padrão de consumo e para manterem seu modelo econômico, abusam da queima de combustíveis fósseis e da degradação ambiental. Essa parece ser a principal causa do aumento das concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera e de suas prováveis repercussões sobre o efeito estufa. A tabela 2 mostra a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido por alguns países desenvolvidos:

<b>Os grandes emissores de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)</b>	
<b>País</b>	<b>Porcentagem em relação ao total Mundial (2005)</b>
EUA	21%
China	19%
Europa	16%

*Tabela 2 – Grandes maiores emissores de CO<sub>2</sub>, - fonte: –Energy Information Administration - 2005*

Neste ranking o *Brasil está bem distante das primeiras posições, emitindo 1% do total global.*

Segundo o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas*) a temperatura média da Terra aumentou cerca de  $0,76^{\circ}\text{C}$  nos últimos 150 anos, embora esse número seja aparentemente pequeno, se este ritmo for mantido, segundo os especialistas, é possível que em um futuro próximo efeitos drásticos possam acontecer. Exemplos destes são:

- \* *Derretimento das geleiras;*
- \* *Elevação do nível dos oceanos;*
- \* *Alteração do clima nas mais variadas regiões, podendo vir a causar extinção de algumas espécies de animais e, grandes danos à agricultura.*

A figura 13 Nos dá uma idéia da variação na temperatura média nos últimos 100 anos. Porém os valores observados para as mudanças climáticas ainda são muito próximos das incertezas em suas medidas. Ainda que se observe uma correlação entre as interferências humanas e as mudanças climáticas, a complexidade do problema ainda deixa uma grande margem de incertezas quanto ao peso da interferência humana e dos ciclos naturais ligados ao planeta.

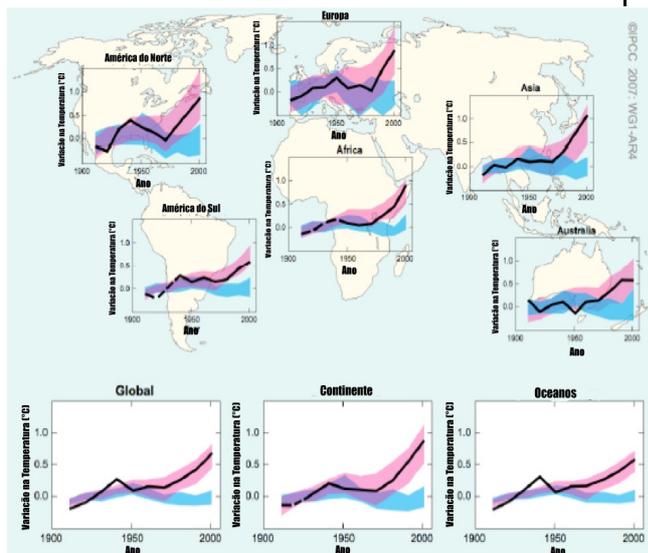


Figura 13 – Variação da Temperatura Média – fonte: Adaptado Mitigação e Mudança Climática IPCC 2007

## Posição Terra-Sol

A Terra gira em torno de si mesma e, movimenta-se em torno do Sol com uma órbita elíptica de baixa excentricidade (quase circular), portanto a Terra apresenta uma mudança na sua posição em relação ao Sol (translação). Essa combinação de movimentos causa uma mudança na quantidade de radiação incidente sobre as variadas regiões da Terra ao longo do ano (por isso que temos as estações do ano). Porém quando consideramos um longo intervalo de tempo (milhares de anos) a Terra executa alguns movimentos, que para este período, são bem significativos. Estes são:

### Alteração na excentricidade da órbita terrestre, ou seja, a órbita da Terra varia de quase circular (excentricidade

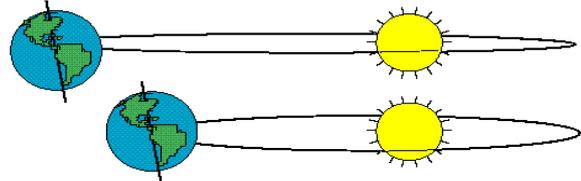


Figura 14 – Variação na Excentricidade – fonte: Wikipédia

baixa) a ser levemente elíptica. Este ciclo tem períodos de 95, 125 e 400 mil anos.

### Alteração na inclinação do eixo de rotação da Terra. Este movimento

consiste na variação da inclinação do eixo de  $22,1^{\circ}$  para  $24,5^{\circ}$ , sendo que depois é retomada a posição inicial e assim sucessivamente. Este movimento tem um período de aproximadamente 41.000 anos

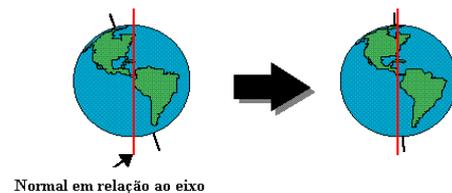


Figura 15 – Variação na Inclinação do Eixo de Rotação – fonte: Wikipédia

**Precissão:** é a mudança na direção do eixo de rotação da Terra em relação às estrelas fixas, com um período médio de 21 mil anos.

A combinação dos três ciclos de variação destes parâmetros, com as suas diferentes periodicidades e intensidades, produz variações complexas entre a quantidade de radiação solar interceptada em cada latitude do planeta e em cada estação do ano, podendo gerar alterações bastante significativas na temperatura da superfície terrestre.



Figura 16 – Precissão  
fonte: Wikipédia

é a ocorrência da microfonia em sistemas de som (aquele barulho chato que sai das caixas de som e, também aparece nas cenas de alguns filmes de terror): quando o microfone está de frente para a caixa de som, um pequeno ruído que sai dos alto-falantes entra novamente no microfone, é amplificado e entra novamente nos alto-falantes e assim consecutivamente até resultar naquele guincho horroroso que ouvimos. Processos de realimentação podem ocorrer na

natureza e, podem vir a ocasionar desequilíbrios progressivos no clima. Veja alguns exemplos abaixo.

\* **O vapor d'água:** Este é um dos mais importantes mecanismos de realimentação. Um aquecimento da Terra, devido à intensificação do efeito de estufa, pode levar a um aumento na evaporação de água e a um aumento na concentração de vapor na atmosfera. Porém é importante lembrar que o vapor de água também é um gás estufa e por isso, mais vapor implicaria em mais aquecimento e consequentemente em mais vapor e assim sucessivamente, conduzindo a um progressivo aquecimento acentuado da superfície terrestre. Neste caso teríamos o vapor de água provocando um efeito *amplificador* do aquecimento global, sendo, portanto uma realimentação positiva.

## Manchas Solares

As manchas solares são ilhas gigantes de intenso magnetismo do tamanho de planetas na superfície do Sol. Elas são causadoras das tempestades solares, de emissões de massa coronal e pelo incremento na intensidade da emissão da radiação ultravioleta (UV). O Sol tem um ciclo natural com duração média de 11 anos, o qual pode variar de 9 a 12,5 anos. O ciclo solar oscila entre uma atividade intensa, repleta de manchas solares e uma baixa atividade onde as manchas são raras.

Como as manchas se relacionam diretamente com o aumento de emissão da radiação, isso pode ocasionar uma elevação na temperatura durante esse período.

## Efeitos de Realimentação

Realimentação é o nome dado ao procedimento através do qual parte do sinal de saída de um sistema é transferida para a entrada deste mesmo sistema provocando uma diminuição (realimentação negativa) ou amplificação (realimentação positiva) deste sinal de saída, através de um processo cíclico. Um exemplo prático de realimentação positiva

**?Você sabe o que são Créditos de Carbono?????**

?Créditos de carbono ou Redução Certificada de Emissões ?  
?(RCE) são certificados emitidos quando ocorre a redução de?  
?emissão de gases estufa. Por convenção, uma tonelada de ?  
?dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) equivalente corresponde a um ?  
?crédito de carbono. Este crédito pode ser negociado no ?  
?mercado internacional. A redução da emissão de outros ?  
?gases que também contribuem para o efeito estufa também ?  
?pode ser convertida em créditos de carbono, utilizando o ?  
?conceito de Carbono Equivalente. ?  
????????????????????????????????????????????????????????????

\* **Nuvens:** O aumento de vapor de água pode também intensificar a formação de nuvens. Estas por sua vez podem gerar realimentação positiva ou negativa dependendo do tipo de nuvem que vier a predominar. As nuvens do tipo cúmulos são nuvens finas e bem grandes horizontalmente, o que faz com que reflitam bastante radiação solar, provocando um resfriamento da superfície terrestre. Portanto, neste caso o aumento de vapor de água pode vir a gerar nuvens que provoquem uma realimentação negativa. Porém se forem formadas nuvens do tipo cúmulos-nimbus (nuvens de tempestade), que possuem uma forma longa e cilíndrica, sua superfície refletirá pouca radiação solar, mas o calor liberado durante o processo de condensação do vapor de água que formou a nuvem gera aquecimento na atmosfera. Desta forma, o aumento de vapor causaria um aquecimento progressivo, formando assim um ciclo. Este é um exemplo de realimentação positiva.



Figura 17 – Devastação da Mata Atlântica  
Fonte: Wikipedia.org

Os exemplos, citados acima, nos dão a idéia do quanto é difícil realmente prever se o clima está ou não mudando e que rumo ele irá tomar, pois além dos fatores acima citados existem vários outros que contribuem para a regulação do clima terrestre. E outro ponto que nos fica é: *“se tais mudanças estiverem realmente ocorrendo, será que a culpa é somente do homem?”*

Como vimos acima, existem diversos fatores naturais que podem causar aquecimento ou esfriamento durante certo período de tempo. Mas apesar destas incertezas uma coisa é fato: o homem ao longo dos séculos tem

devastado ferozmente a natureza e isto afeta diretamente a nossa vida independente ou não da existência do aquecimento global. Portanto esta violência contra o meio-ambiente precisa parar. Abaixo estão alguns tópicos sobre os quais devemos realizar uma reflexão:

\* **Devastação das florestas.** Esta é uma das maiores agressões que o homem comete contra a natureza. Um dos maiores exemplos é a devastação da mata atlântica. A figura 17 nos permite observar a imensa redução que ela sofreu nos últimos séculos. Algumas das consequências desta devastação são: destruição da biodiversidade, erosão e empobrecimento dos solos, enchentes e assoreamento dos rios.

\* **Destruição dos Rios.** Os esgotos domésticos e industriais chegam aos rios sem tratamento algum, sendo que há também uma liberação de substâncias como solventes, plásticos, inseticidas, entre outros. Todos estes materiais são extremamente nocivos aos rios. Em São Paulo temos

um exemplo claro desta devastação: o rio Tietê. Faça uma experiência, pergunte aos seus avós se eles lembram como era o Tietê antigamente. O Tietê até os anos 60, ainda possuía peixes no trecho que atravessa a capital do nosso Estado (isso mesmo, parece inacreditável não?), porém com a expansão urbana desordenada e a industrialização, este rio tornou-se um depósito de dejetos.

\* **Poluição gerada por veículos.** As metrópoles são grandes centros de poluição. Além da alta concentração de indústrias, possuem uma grande densidade de pessoas. A falta de uma estrutura adequada contribui para uma grande emissão de poluentes, principalmente quando falamos em meios

de transporte. O ineficaz sistema de transporte coletivo que possuímos acaba por fazer com que muitas pessoas escolham por ir realizar as suas atividades em seus próprios veículos (tanto que é comum vermos nas ruas vários automóveis com apenas uma pessoa). Isso gera um grande aumento no número de carros nas ruas, engarrafamentos e conseqüentemente, um crescimento na quantidade de poluentes emitidos. As conseqüências disto nós sentimos diretamente, basta olhar a quantidade de pessoas que sofrem com as doenças respiratórias, principalmente no período do inverno.

Mas será que nós podemos fazer algo para alterar este quadro? Pode até parecer

difícil, mas realizando alterações nos nossos hábitos de vida e incentivando outras pessoas a também os fazer, conseguiremos mudar nossos hábitos de consumo e, assim não desgastar tanto o nosso planeta. Também é fundamental que além de agirmos individualmente consigamos conscientizar outras pessoas a respeito do problema de modo a gerar uma ação coletiva contra esta agressão que a humanidade faz a natureza.

Agora é com você, cite algumas medidas que você acredita que podem fazer a diferença e, como elas podem ajudar a diminuir a degradação do planeta.

## BIBLIOGRAFIA

Alley, Richard B., *Mudança Climática Brusca*. Scientific American Brasil - Edição Especial nº 12, p. 8-15.

Catelli, D. e Franco, V.C., *Pense e Responda! Imagens Queimam?*, Cad. Bras. Ens. Fís., v. 23, n. 3: p. 439-443, dez. 2006.

Encyclopaedia Britannica, versão CD Deluxe, 2001

Garcia, N.M.D. e Kalinowisk, J.H., *Um Espectroscópio Simples para Uso Individual*. Caderno.Catarinense do Ensino de Física, v.11,n2: p.134-140, ago.1994.

HEWITT , Paul G., *Física Conceitual*. Editora Bookman Edição 9ª ED. 2002.

Historical Overview of Climate Change Science, IPCC , 2007  
Intergovernmental Panel on Climate Change

Maria E.R. Xavier, Américo A. F. S. Kerr, *A análise do efeito estufa em textos para-didáticos e periódicos jornalísticos*, Anais do VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Águas de Lindóia, SP, Brasil, 5 a 8 de Junho de 2002

Ramanathan et al, J. Geophys. Res. 90, D3, 5547-66, 1985.

Summary for Policymakers, IPCC , 2001  
Intergovernmental Panel on Climate Change

Wikipedia – [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com), temas: “wave” (onda em português) e “Milankovitch Cycle” (Ciclo de Milankovitch em português).