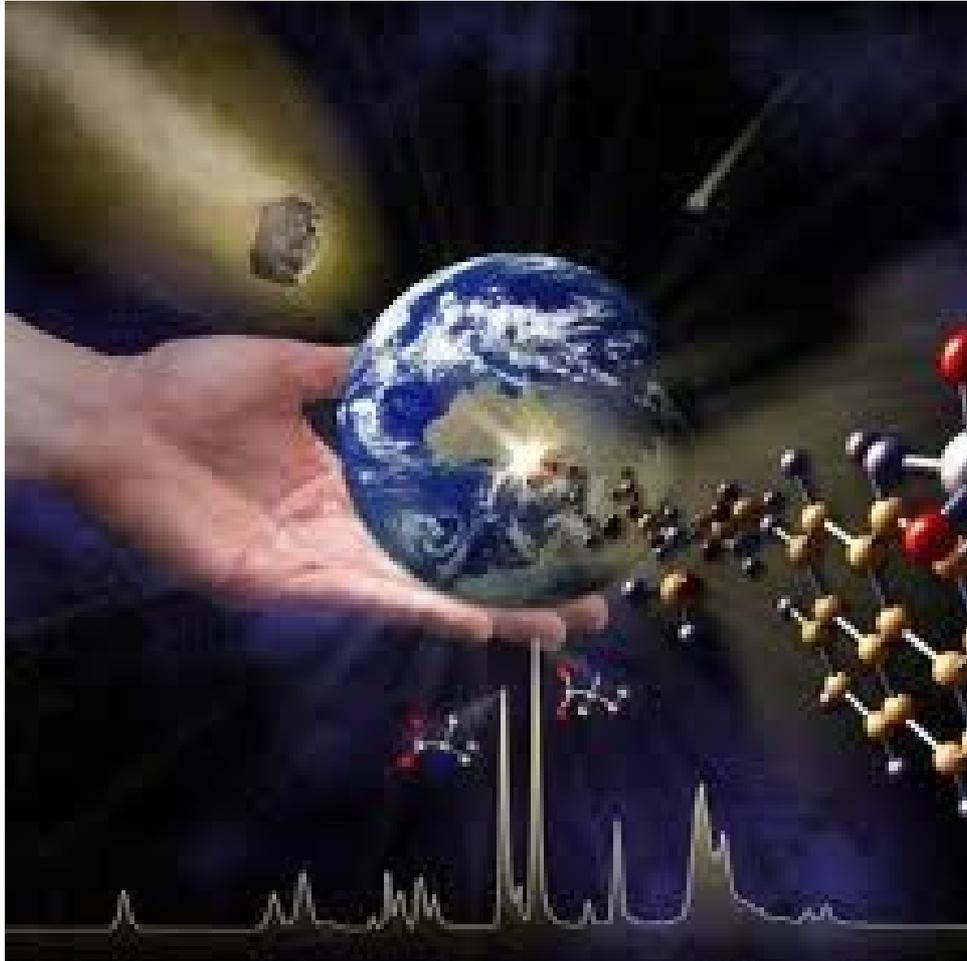


FÍSICA DAS RADIAÇÕES



**CONHECIMENTOS FUNDAMENTAIS DE FÍSICA QUÂNTICA
APLICADOS À MEDICINA VIBRACIONAL**

AUTOR

CARLOS ASSIS

FÍSICA DAS RADIAÇÕES

**CONHECIMENTOS FUNDAMENTAIS DE FÍSICA QUÂNTICA
APLICADOS À MEDICINA VIBRACIONAL**

AUTOR

CARLOS ASSIS

RIO DE JANEIRO

MARÇO DE 2007

**© SÃO RESERVADOS TODOS OS DIREITOS DESTA PUBLICAÇÃO,
SENDO, DESTA FORMA, PROIBIDA A SUA REPRODUÇÃO, MESMO QUE PARCIAL,
POR QUAISQUER MEIOS, SEM UMA EXPRESSA AUTORIZAÇÃO DO AUTOR.**

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – ESTADOS FÍSICOS E PROPRIEDADES DA MATÉRIA

1.1 – MATÉRIA, SUBSTÂNCIA E CORPO - 9

1.2 – ENERGIA - 9

1.3 – MATÉRIA: CONSTITUIÇÃO E ESTADOS FÍSICOS - 10

1.4 – FENÔMENOS E PROPRIEDADES DA MATÉRIA - 12

CAPÍTULO 2 – CLASSIFICAÇÃO DAS SUBSTÂNCIAS

2.1 – TIPOS DE SUBSTÂNCIA - 17

2.2 – SUBSTÂNCIAS PURAS - 17

2.3 – SUBSTÂNCIAS IMPURAS OU MISTURAS - 17

2.4 – ANÁLISE IMEDIATA - 18

CAPÍTULO 3 – ÁTOMO E SUAS PARTÍCULAS FUNDAMENTAIS

3.1 – ÁTOMO - 21

3.2 – PARTÍCULAS FUNDAMENTAIS DO ÁTOMO - 21

3.3 – QUANTIFICAÇÃO DAS PARTÍCULAS FUNDAMENTAIS DO ÁTOMO - 23

3.4 – ÁTOMOS ISÓTOPOS - 24

3.5 – ÁTOMOS ISÓBAROS - 25

3.6 – ÁTOMOS ISÓTONOS - 25

CAPÍTULO 4 – TEORIA ATÔMICO-MOLECULAR

4.1 – MASSA ATÔMICA - 27

4.2 – MASSA MOLECULAR - 28

4.3 – ÁTOMO GRAMA - 28

4.4 – MOLÉCULA GRAMA OU MOL - 29

CAPÍTULO 5 – DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA

5.1 – DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA - 31

5.2 – NÚMEROS QUÂNTICOS - 32

5.3 – ÓRBITAS, CAMADAS OU NÍVEIS ENERGÉTICOS - 33

5.4 – SUBNÍVEIS ENERGÉTICOS - 33

5.5 – DIAGRAMA DE LINUS PAULING - 35

5.6 – ORBITAIS - 36

5.7 – SPINS - 37

CAPÍTULO 6 – TIPOS DE LIGAÇÃO ATÔMICA

6.1 – LIGAÇÕES ATÔMICAS - 39

6.2 – REGRA DE OCTETO - 39

6.3 – LIGAÇÕES ELETROVALENTES OU IÔNICAS - 41

6.4 – LIGAÇÕES COVALENTES - 43

6.5 – LIGAÇÕES METÁLICAS - 44

6.6 – TABELA PERIÓDICA DE ELEMENTOS QUÍMICOS - 46

CAPÍTULO 7 – CONCEITOS APLICADOS DE QUÍMICA E FÍSICA

7.1 – SOM: ONDAS SONORAS - 53

7.2 – LUZ: ONDAS LUMINOSAS - 62

7.3 – ELETRICIDADE: ONDAS ELÉTRICAS - 81

7.4 – MAGNETISMO: ONDAS MAGNÉTICAS - 88

7.5 – ELETROMAGNETISMO: ONDAS ELETROMAGNÉTICAS - 96

7.6 – ENERGIAS: ATÔMICA E NUCLEAR - 110

CAPÍTULO 8 – RADIAÇÕES IONIZANTES E NÃO-IONIZANTES

8.1 – INTRODUÇÃO - 117

8.2 – RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA - 120

8.3 – ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO - 120

8.4 – TEORIA DOS QUANTA - 121

8.5 – DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA - 122

8.6 – TIPOS DE RADIAÇÃO E SUAS CARACTERÍSTICAS - 122

8.7 – RADIAÇÃO ALFA OU PARTÍCULA ALFA (α) - 123

8.8 – RADIAÇÃO BETA OU PARTÍCULA BETA (β) - 124

8.9 – NÊUTRONS (n) - 125

8.10 – RADIAÇÃO GAMA OU RAIOS GAMA (γ) - 125

8.11 – RADIOATIVIDADE OU RADIATIVIDADE - 129

8.12 – RADIAÇÕES NA NATUREZA - 131

CAPÍTULO 9 – IMPORTÂNCIA DAS RADIAÇÕES NA ÁREA MÉDICA

9.1 – INTRODUÇÃO - 133

9.2 – UTILIZAÇÃO EM RADIODIAGNÓSTICO - 134

9.3 – RADIAÇÃO X OU RAIOS X - 135

9.4 – UTILIZAÇÃO EM RADIOTERAPIA - 139

CAPÍTULO 10 – RADIOISÓTOPOS

10.1 – INTRODUÇÃO - 141

10.2 – BENEFÍCIOS PELA UTILIZAÇÃO DE RADIOISÓTOPOS - 142

10.3 – RISCOS PELA UTILIZAÇÃO DE RADIOISÓTOPOS - 143

10.4 – EFEITOS BIOLÓGICOS - 143

10.5 – APLICAÇÕES DA RADIOATIVIDADE - 144

CAPÍTULO 11 – BIOFÍSICA DAS RADIAÇÕES

11.1 – INTRODUÇÃO - 145

11.2 – EXPOSIÇÃO ÀS RADIAÇÕES NUCLEARES - 145

11.3 – CONCEITO DE DOSE ABSORVIDA - 146

11.4 – TIPOS DE EFEITO PRODUZIDOS POR RADIAÇÃO IONIZANTE - 146

11.5 – DOSE LIMINAR E DOSE SUBLETAL - 147

11.6 – RADIOSENSIBILIDADE E MECANISMOS CELULARES DE DEFESA - 147

11.7 – SISTEMAS BIOLÓGICOS DE DEFESA - 148

11.8 – RADIOSENSIBILIDADE CELULAR E FATORES QUE A MODIFICAM - 148

11.9 – EFEITOS SOMÁTICOS CAUSADOS PELAS RADIAÇÕES IONIZANTES - 149

11.10 – EFEITOS GENÉTICOS CAUSADOS PELAS RADIAÇÕES IONIZANTES - 149

11.11 – EFEITOS ESTOCÁTICOS E NÃO-ESTOCÁTICOS - 150

CONCLUSÃO - 153

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS - 155

*** * * * ***

CAPÍTULO 1 – ESTADOS FÍSICOS E PROPRIEDADES DA MATÉRIA

1.1 – MATÉRIA, SUBSTÂNCIA E CORPO

Química é a parte da Ciência dedicada ao estudo da constituição e das transformações que ocorrem na natureza.

MATÉRIA ⇒ É tudo que apresenta massa e ocupa lugar no espaço.

SUBSTÂNCIA ⇒ É a qualidade da matéria.

CORPO ⇒ É uma forma definida de matéria.

Desta forma, podemos efetuar uma primeira análise sobre tudo que constitui o universo.

(1) Basta apresentar massa para ser matéria.

Exemplo: **Madeira** ⇒ ocupa lugar no espaço.

Ar atmosférico ⇒ também ocupa lugar no espaço.

Luz ⇒ não ocupa lugar no espaço; então não é matéria.

(2) Dependendo das qualidades da matéria, teremos a substância.

Exemplo: Três líquidos = A, B e C. Estes podem ser classificados quanto às suas qualidades. A = leite; B = água; e C = óleo. São três quantidades de matéria, porém, três substâncias diferentes, ou seja, três qualidades de matéria.

(3) As porções de matéria podem diferir entre si, de acordo com a forma com a qual se apresentam.

Exemplo: Podemos ter duas porções de matéria: A e B. A e B podem ser constituídas da substância madeira. Quanto ao corpo, ou seja, quanto à forma, A e B podem diferir entre si, sendo A uma cadeira e B uma mesa.

1.2 – ENERGIA

É tudo aquilo que pode efetuar modificações nas substâncias, que pode produzir trabalho.

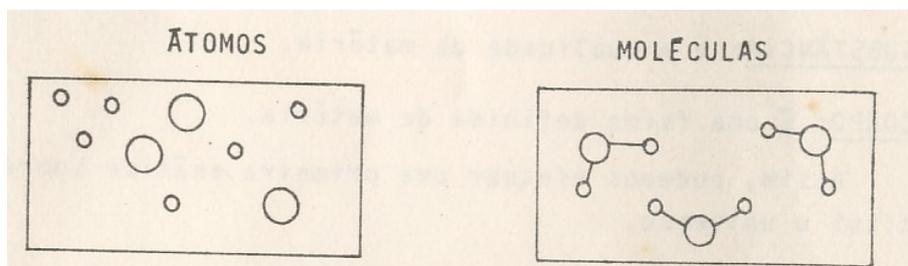
Exemplo: Energia elétrica, Energia térmica, entre outras.

Você pode transformar uma substância em outra, utilizando energia. Note: se pegarmos um pedaço de papel e o queimarmos, teremos a aplicação da energia térmica sobre a substância papel transformando-a em fumaça e cinzas.

As qualidades do papel desaparecem todas, surgindo novas substância, ou seja, novas qualidades de matéria.

1.3 – MATÉRIA: CONSTITUIÇÃO E ESTADOS FÍSICOS

A matéria é constituída por pequenas partículas chamadas de átomos. Quando alguns átomos se unem, temos as moléculas.



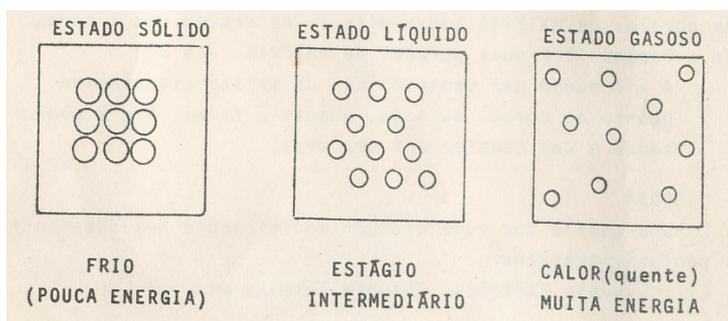
Os átomos e as moléculas podem estar bem próximos uns dos outros ou separados.

O fator que comanda a distância entre os átomos ou entre as moléculas é a energia.

Quando está frio, os átomos e as moléculas se agrupam, tentando se aquecer mutuamente, então, temos o estado sólido.

Quando a temperatura é agradável, os átomos e as moléculas ficam à vontade, nem muito juntos, nem muito separados, então, temos o estado líquido.

Quando está quente, os átomos e as moléculas ficam se movimentando muito, como que irritados, mantendo a maior distância possível entre si, então, temos o estado gasoso.



Quando o estado é sólido, os átomos e as moléculas estão sob a ação de forças de coesão, ou seja, eles estão coesos.

Quando o estado é gasoso, os átomos e as moléculas estão sob a ação de forças de dispersão, ou seja, eles estão dispersos.

Quando a temperatura muda, o estado físico, seja ele sólido, líquido ou gasoso, também pode mudar. Este fenômeno é chamado de mudança de estado físico.

Vamos observar as mudanças de estado físico da matéria:



Vejam, então, os nomes destas mudanças de estado físico da matéria:

- (1) **FUSÃO** ⇒ É a mudança do estado sólido para o estado líquido.
- (2) **SOLIDIFICAÇÃO** ⇒ É a mudança do estado líquido para o estado sólido.
- (3) **CONDENSAÇÃO** ou **LIQUEFAÇÃO** ⇒ É a mudança do estado gasoso para o estado líquido.
- (4) **VAPORIZAÇÃO** ou **EBULIÇÃO** ⇒ É a mudança do estado líquido para o estado gasoso.
- (5) e (6) **SUBLIMAÇÃO** ⇒ É a mudança do estado gasoso para o estado sólido ou a mudança do estado sólido para o estado gasoso.

Para muitos cientistas, a matéria somente apresenta três estados físicos, porém, isto não é verdade. Recentemente, alguns cientistas descobriram um quarto estado físico da matéria, que foi denominado plasma. Não tem nada haver com o plasma existente no sangue.

Neste quarto estado físico da matéria, leva-se em conta, não somente o movimento das moléculas, mas sim, o tipo de carga elétrica dos átomos que as constitui.

No estado de plasma, os átomos são íons, átomos eletrizados, ou seja, em desequilíbrio de carga elétrica, em movimento e em elevadas temperaturas, conforme veremos mais adiante neste trabalho, em tipos de ligações atômicas.

O estado de plasma é alcançado, quando uma grande quantidade de calor

é aplicada às moléculas de um gás. Com a inevitável elevação da temperatura das moléculas, os choques entre as mesmas tornam-se tão intensos, que passam a ionizar os átomos que as constitui, arrancando os seus elétrons. Quando se fala aqui em uma grande quantidade de calor, temos que imaginar que é grande mesmo, a ponto do plasma ser encontrado no interior das estrelas, como no caso do Sol, sendo uma temperatura da ordem de milhões de graus Celsius. Os cientistas vêm desenvolvendo aparelhos para reproduzir o plasma em laboratório.

Pode-se observar o plasma na Terra, de forma natural, em condições, logicamente, muito especiais e repentinas. Ele é o tão conhecido e comum relâmpago, que se observa em dias de tempestade. Podemos dizer que o relâmpago é um exemplo do quarto estado físico da matéria, o plasma.

De acordo com as teorias mais avançadas da Ciência, é possível que existam outros estados físicos da matéria e que, até o momento, não foram descobertos.

1.4 – FENÔMENOS E PROPRIEDADES DA MATÉRIA

É chamado de fenômeno, qualquer transformação ocorrida na natureza.

Numa observação geral, os fenômenos podem ser:

FÍSICOS ⇒ Quando não alteram as propriedades das substâncias nele envolvidas.

Exemplo: Serrar madeira. A madeira não perde as suas propriedades, mas sim, muda de forma.

QUÍMICOS ⇒ Quando alteram as propriedades das substâncias nele envolvidas.

Exemplo: Fumar um cigarro. O fumo e o papel, que constituem o cigarro, perdem as suas propriedades, transformando-se em cinzas e fumaça.

As propriedades que a matéria apresenta estão divididas em vários tipos:

(A) PROPRIEDADES GERAIS

(B) PROPRIEDADES ESPECÍFICAS

(C) PROPRIEDADES FUNCIONAIS

Neste trabalho estudaremos, somente, as Propriedades Gerais e as Propriedades Específicas da matéria, pois, no nosso caso, são as que mais nos interessam:

(A) PROPRIEDADES GERAIS da matéria:

(1) EXTENSÃO ⇒ A matéria apresenta volume e ocupa lugar no espaço.

(2) IMPENETRABILIDADE ⇒ Duas porções de matéria não podem ocupar o mesmo lugar no espaço, ao mesmo tempo.

(3) DESCONTINUIDADE ⇒ A matéria é constituída por pequenas partículas chamadas de átomos e moléculas.

(4) DILATAÇÃO ⇒ Sob a ação de calor a matéria aumenta o seu volume.

(5) MASSA ⇒ É a grandeza que mede a quantidade de matéria.

(6) PESO ⇒ É a força com a qual a Terra atrai os corpos para o seu centro.

(B) PROPRIEDADES ESPECÍFICAS da matéria:

São três os tipos de propriedades específicas da matéria: (1) Propriedades Físicas; (2) Propriedades Químicas; e (3) Propriedades Organoléticas.

As Propriedades Físicas são:

(1) PONTO DE FUSÃO ⇒ É a temperatura na qual uma substância passa do estado sólido para o estado líquido.

Exemplo: O ponto de fusão da água (H_2O) é $0^{\circ}C$ e o do ferro (Fe) é $1.540^{\circ}C$.

(2) PONTO DE EBULIÇÃO ⇒ É a temperatura na qual uma substância passa do estado líquido para o estado gasoso.

Exemplo: O ponto de ebulição da água (H_2O) é $100^{\circ}C$ e do ferro (Fé) é $2.750^{\circ}C$.

(3) DENSIDADE ⇒ É a massa que o volume de 1 cm^3 de uma substância apresenta. Podemos então notar que densidade é uma relação entre a massa e o volume de uma substância. A seguir é apresentada a fórmula para se calcular densidade:

$$D = \frac{m \text{ (gramas)}}{V \text{ (cm}^3\text{)}}$$

Exemplo: A água apresenta densidade de 1 g/cm³, o mercúrio de 13,6 g/cm³.

(4) GRAU DE SOLUBILIDADE OU COEFICIENTE DE SOLUBILIDADE ⇒ É a massa máxima de uma substância que pode ser dissolvida em 1 litro de outra substância.

Exemplo: O sal de cozinha (cloreto de sódio ou NaCl) se dissolve em água pura (H₂O). O sal de cozinha (NaCl) por ser dissolvido é chamado de soluto e a água (H₂O) por dissolver é chamada de solvente. Estas dissoluções são feitas, geralmente, a uma temperatura padrão de 20°C. Para o caso da dissolução do NaCl em H₂O, observamos que 1 litro de H₂O dissolve no máximo 320 gramas de NaCl. Portanto, o grau de coeficiente de solubilidade do NaCl em H₂O é 320 gramas por litro (g/l). Acima de 320 gramas de NaCl por 1 litro de H₂O, deixaremos de ter uma mistura homogênea, sem apresentação de fases, para termos uma mistura heterogênea, com apresentação de duas fases, uma líquida e uma sólida, caso em que podemos dizer que trata-se de uma mistura saturada, ou seja, com excesso de NaCl em 1 litro de H₂O.

(5) DUREZA ⇒ É a propriedade que uma substância apresenta em riscar outra substância.

Exemplo: O diamante risca o vidro, portanto, o diamante é mais duro do que o vidro.

Existe uma tabela, chamada de Tabela de Mohs, que apresenta 10 substâncias em ordem crescente de dureza.

Tabela 1: Escala de Mohs e Escala comparativa

D	MINERAIS	D	MINERAIS	D	MATERIAIS COMUNS
01	Talco	06	Feldspato (Ortoclásio)	+ 2	unha
02	Gipso ou Gipsita	07	Quartzo	+ 3.5	alfinete
03	Calcita	08	Topázio	+ 5	aço (gilete)
04	Fluorita	09	Coríndon	+ 5.5	vidro
05	Apatita	10	Diamante		

Observe, na tabela acima, que o talco é o menos duro e o diamante é o mais duro de todos. O vidro não consta nesta tabela, mas se fosse inserido na mesma, sua dureza seria 6,5. Isto é, risca o feldspato e é riscado pelo quartzo.

(6) TENACIDADE ⇒ É a resistência que uma substância apresenta ao choque mecânico.

Exemplo: O aço é uma substância de elevada tenacidade, pois resiste a grandes choques mecânicos.

As Propriedades Químicas são:

(1) COMBUSTÃO ⇒ Quando ocorre uma queima.

Exemplo: Queima de papel ou queima de gasolina. Quando uma substância sofre uma combustão, dizemos que esta substância é o combustível e o oxigênio do ar é o comburente.

(2) SÍNTESE ⇒ Quando ocorre que duas substâncias, ou mais, se transformam em apenas uma outra substância.

Substância A + Substância B —————> Substância C

Exemplo: Hidrogênio + Oxigênio $\xrightarrow[\text{especiais}]{\text{condições}}$ Água (H₂O)

(3) ANÁLISE OU DECOMPOSIÇÃO ⇒ Quando ocorre que uma substância se transforma em duas, ou mais, substâncias.

Substância A —————> Substância B + Substância C

Exemplo: Mármore $\xrightarrow[\text{especiais (*)}]{\text{condições}}$ Cal + Gás Carbônico

(*) muito calor

(4) CATÁLISE OU AÇÃO DE CATALISADOR ⇒ Quando ocorre com a utilização de um catalisador. Catalisador é uma substância que participa de um fenômeno químico, sem tomar parte no resultado.

Exemplo: A clorofila, no processo de fotossíntese, atua como um catalisador. O catalisador tem por função acelerar ou retardar um fenômeno químico.

As propriedades organoléticas são as propriedades que verificamos pela ação dos órgãos dos sentidos, tais como: (1) Cor; (2) Brilho; (3) Sabor; (4) Odor; (5) e Tato (estado físico).

* * * * *

CAPÍTULO 2 – CLASSIFICAÇÃO DAS SUBSTÂNCIAS

2.1 – TIPOS DE SUBSTÂNCIA

As substâncias se classificam em puras e impuras. As substâncias puras ou espécies químicas são aquelas substâncias que apresentam mudanças de estado físico, em temperatura constante. Quando uma substância pura ou espécie química está sofrendo uma mudança de estado físico, a temperatura não se altera.

As substâncias impuras ou misturas são aquelas substâncias que não apresentam mudanças de estado físico, em temperatura constante. Quando uma substância impura ou mistura está sofrendo uma mudança de estado físico, a temperatura se altera.

2.2 – SUBSTÂNCIAS PURAS

As substâncias puras ou espécies químicas podem ser:

(1) SUBSTÂNCIA PURA SIMPLES OU ELEMENTO QUÍMICO \Rightarrow É a substância pura cuja constituição apresenta átomos de uma só espécie química, ou seja, de um só elemento químico.

Exemplo: Oxigênio (O), ferro (Fe), alumínio (Al), entre outros.

(2) SUBSTÂNCIA PURA COMPOSTA OU COMPOSTO QUÍMICO \Rightarrow É a substância pura cuja constituição apresenta átomos de duas ou mais espécies químicas, ou seja, de dois ou mais elementos químicos.

Exemplos: H_2O = água (hidrogênio (H) e oxigênio (O)) ou

H_2SO_4 = ácido sulfúrico (hidrogênio (H), enxofre (S) e oxigênio (O))

2.3 – SUBSTÂNCIAS IMPURAS OU MISTURAS

As substâncias impuras ou misturas podem ser:

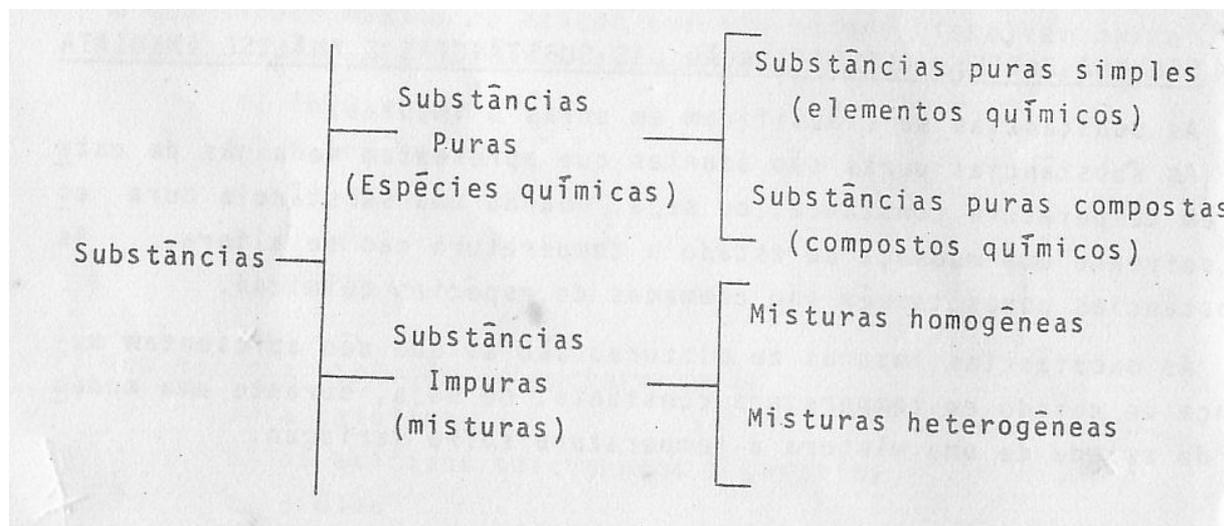
(1) MISTURA HOMOGÊNEA \Rightarrow É a substância impura ou mistura que apresenta as mesmas propriedades em toda a sua extensão.

Exemplo: Água do mar. É uma mistura de vários sais e água pura.

(2) MISTURA HETEROGÊNEA \Rightarrow É a substância impura ou mistura que não apresenta as mesmas propriedades em toda a sua extensão.

Exemplo: Água e óleo. Quando colocados em um mesmo recipiente, a água ocupa a parte inferior e o óleo a parte superior do recipiente, porque o óleo é menos denso do que a água; trata-se, portanto, de dois líquidos que não se misturam, ou seja, são imissíveis.

Então, a classificação das substâncias fica do seguinte modo:



2.4 – ANÁLISE IMEDIATA

Quando reunimos duas ou mais substâncias diferentes, temos uma substância impura ou mistura, que pode ser homogênea ou heterogênea. As substâncias que entraram no processo de constituição da mistura são chamadas de fases da mistura.

Chamamos de Análise Imediata ao conjunto de processos utilizados na separação das fases, componentes de uma substância impura ou mistura.

Os processos utilizados em Análise Imediata são:

1º Tipo ⇒ Quando a mistura é heterogênea e as fases são sólidas.

(1) CATAÇÃO ⇒ Separação de forma manual, ou seja, com a utilização das mãos.

(2) PENEIRAÇÃO ⇒ Separação com a utilização de uma peneira.

(3) TAMISAÇÃO ⇒ Separação com a utilização de duas ou mais peneiras.

(4) VENTILAÇÃO ⇒ Separação com a utilização de uma corrente de ar, para arrastar uma das fases, a menos densa.

(5) LEVIGAÇÃO ⇒ Separação com a utilização de uma corrente de água, para arrastar uma das fases, a menos densa.

(6) FLOTAÇÃO ⇒ Separação com a utilização de um líquido com densidade intermediária à das fases.

(7) SEPARAÇÃO MAGNÉTICA ⇒ Separação com a utilização das propriedades eletromagnéticas do ferro.

(8) FUSÃO ⇒ Separação baseada nos diferentes pontos de fusão das fases.

(9) DISSOLUÇÃO FRACIONADA ⇒ Separação com a utilização de um líquido que dissolve apenas uma das fases, deixando a outra sólida.

2º Tipo ⇒ Quando a mistura é heterogênea e as fases são líquida e sólida:

(1) DECANTAÇÃO ⇒ Separação que consiste em deixar uma mistura em repouso até que a fase sólida, mais densa, se deposite no fundo do recipiente.

(2) FILTRAÇÃO ⇒ Separação com a utilização de um filtro para reter a fase sólida.

(3) CENTRIFUGAÇÃO ⇒ Separação com a utilização da força centrífuga para acelerar o processo de decantação.

3º Tipo ⇒ Quando a mistura é heterogênea e as fases são líquidas:

(1) DECANTAÇÃO ⇒ Separação com a utilização de um aparelho chamado de funil de separação ou balão de separação.

4º Tipo ⇒ Quando a mistura é heterogênea e as fases são gasosa e sólida:

(1) FILTRAÇÃO ⇒ Separação que consiste em deixar uma mistura passar através de um líquido, que funciona como filtro, que retém a fase sólida.

(2) CÂMARA DE POEIRA ⇒ Separação com a utilização da força centrífuga e da gravidade, sobre as partículas da fase sólida, dispersas na fase gasosa.

5º Tipo ⇒ Quando a mistura é homogênea e as fases são líquidas:

(1) DESTILAÇÃO FRACIONADA ⇒ Separação baseada nos diferentes pontos de ebulição das fases que constituem a mistura; este processo é utilizado no refino do petróleo.

6º Tipo ⇒ Quando a mistura é homogênea e as fases são gasosas:

(1) LIQUEFAÇÃO FRACIONADA ⇒ Separação baseada nos diferentes pontos de liquefação das fases que constituem a mistura.

* * * * *

CAPÍTULO 3 – ÁTOMO E SUAS PARTÍCULAS FUNDAMENTAIS

3.1 – ÁTOMO

Átomo é a menor partícula que apresenta as propriedades de um elemento químico. Por exemplo: Se tomarmos uma lâmina de ferro que, por menor que seja para os nossos olhos, apresenta uma gigantesca quantidade de átomos, e, dividirmos esta lâmina em pequenos fragmentos, o menor fragmento, que ainda apresentar as propriedades do ferro, é chamado de átomo de ferro.

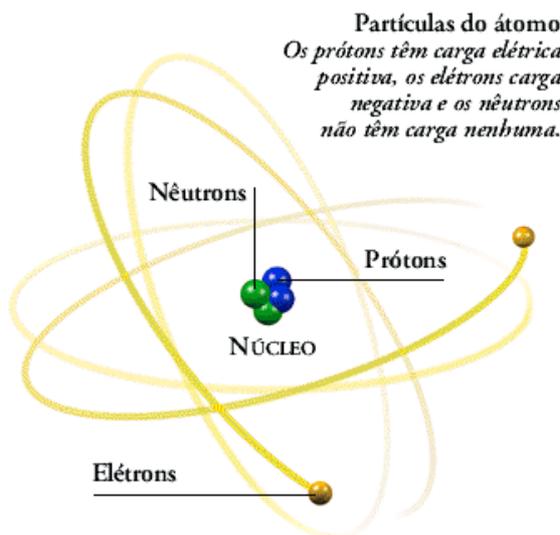
Os átomos dos elementos químicos são representados por símbolos.

Exemplo: Ferro = Fe; Sódio = Na; Alumínio = Al; Antimônio = Sb;
Nitrogênio = N; Oxigênio = O; entre outros.

3.2 – PARTÍCULAS FUNDAMENTAIS DO ÁTOMO

O átomo, quando observado mais de perto, apresenta duas partes distintas: o núcleo e a envoltiva, esta última também chamada de eletrosfera. O núcleo é a região central do átomo, muito pequena em relação à envoltiva ou eletrosfera, que parece protegê-lo.

Para termos uma idéia, do tamanho do núcleo de um átomo, podemos dizer que o seu diâmetro é, em média, 10.000 vezes menor do que o diâmetro do átomo a que pertence.



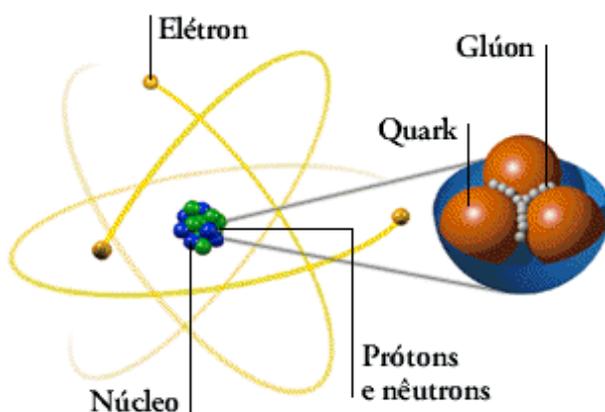
Para que se tenha uma idéia do tamanho dos átomos menores, basta dizer que se enfileirarmos 100 milhões desses átomos em linha reta, eles vão perfazer 1 cm de comprimento. Se forem átomos maiores, o número desses átomos será entorno de 10 milhões, para perfazer 1 cm de comprimento.

No átomo existem partículas subatômicas; são partículas menores que o próprio átomo.

Na eletrosfera encontramos partículas chamadas elétrons, que apresentam carga elétrica negativa (e^-).

A massa dos elétrons é muito pequena em relação à massa dos prótons. Os prótons apresentam massa 1.840 vezes maior do que a massa dos elétrons.

No núcleo encontramos, basicamente, dois tipos de partículas, os prótons, que apresentam carga elétrica positiva (p^+) e os nêutrons, que apresentam carga nula (n^0).



Além das três partículas fundamentais (prótons, elétrons e nêutrons), são conhecidas, atualmente, outras partículas subatômicas, conforme mostra a tabela abaixo:

PARTÍCULA	MASSA	CARGA ELÉTRICA
Próton	1	+1
Nêutron	1	0
Pósitron	1/1840	+1
muon positivo	1/9	+1
muon negativo	1/9	-1
méson π positivo	1/7	+1
méson π negativo	1/7	-1
méson π neutro	1/7	0
Neutrino	0	0

Neste trabalho, estudaremos apenas os elétrons, prótons e nêutrons, as demais partículas subatômicas, não estudaremos, por se tratar de um trabalho

de estudo apenas de fundamentos básicos de Química e Física, aplicados à Radiologia Médica.

A título de conhecimento, podemos dizer que o pósitron, partícula subatômica do átomo, como vimos anteriormente, descoberta recentemente, é utilizado na Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET), que trata-se de um avançado método de radiodiagnóstico por imagem.

3.3 – QUANTIFICAÇÃO DAS PARTÍCULAS FUNDAMENTAIS DO ÁTOMO

NÚMERO ATÔMICO \Rightarrow É a quantidade de prótons apresentada por um átomo de determinado elemento químico. Não existem dois átomos, de elementos químicos diferentes, que apresentem o mesmo número atômico. O número atômico de um elemento químico é a sua identidade digital, pois sabemos que não existem dois seres humanos com a mesma impressão digital, caso semelhante ocorre na identificação dos átomos. O símbolo de número atômico é Z.

NÚMERO DE MASSA \Rightarrow É o resultado da soma do número de prótons com o número de nêutrons, existentes em um átomo de determinado elemento químico. O símbolo de número de massa é A ou N.M..

Podemos representar, de uma só vez, o símbolo de um determinado elemento químico, juntamente, com seu número atômico e número de massa.

Exemplo: O sódio tem como símbolo Na, o seu número atômico é 11 e o seu número de massa é 23. Se $Z = 11$ e $N.M. = 23$, então, ${}^{N.M.}_Z\text{Na} = {}^{23}_{11}\text{Na}$.

Quando lemos ${}^{N.M.}_Z\text{Na}$, podemos concluir imediatamente que:

- (1) O sódio (Na), como apresenta $Z = 11$, cada átomo terá 11 prótons.
- (2) Como o N.M. do sódio (Na) é 23, a soma do número de prótons com o número de nêutrons, de cada átomo de sódio (Na), é 23.
- (3) O número de nêutrons é igual à diferença entre o número de massa e o número atômico do elemento químico.

Vejamos para o sódio (Na): ${}^{23}_{11}\text{Na} \Rightarrow$ número de nêutrons (n^0) = $N.M. - Z$,
 $n^0 = 23 - 11$, logo, $n^0 = 12$.

Este processo é aplicável para todos os outros elementos químicos.

O número de elétrons de um elemento químico, no seu estado natural, sem

ter participado de nenhum tipo de fenômeno químico ou físico, é igual ao número atômico.

Então, o sódio ($^{23}_{11}\text{Na}$), no seu estado natural, apresenta 11 elétrons.

O número atômico é a principal característica de um elemento químico, isto quer dizer que, voltamos a repetir, não existem dois elementos químicos diferentes com o mesmo número de prótons ou mesmo número atômico. Note, dois elementos químicos diferentes: o sódio (Na) e o alumínio (Al).



Todos os átomos que apresentam $Z = 11$, serão átomos do elemento químico sódio (Na) e todos os átomos que apresentam $Z = 13$ serão átomos do elemento químico alumínio (Al).

Podemos, então, definir elemento químico como sendo o conjunto de átomos que apresentam o mesmo número atômico.

3.4 – ÁTOMOS ISÓTOPOS

Isótopos são átomos de um mesmo elemento químico, que apresentam o número atômico igual, porém, o número de massa diferente.

Exemplo: O elemento químico carbono (C) \Rightarrow $^{12}_6\text{C}$ $^{14}_6\text{C}$

Note, que os números atômicos são iguais, porém, os números de massa são diferentes.

Outro exemplo: O elemento químico hidrogênio \Rightarrow ^1_1H ^2_1H ^3_1H

São três os isótopos do elemento químico hidrogênio (H), conforme apresentado na figura abaixo:



Hidrogênio
1 próton



Deutério
1 próton
1 nêutron



Trítio (Tritio)
1 próton
2 nêutrons

Costuma-se chamar o ^2_1H de deutério (^2_1D) e o ^3_1H de trítio (^3_1T).

Então, em termos gerais, podemos dizer que dois elementos químicos A e B são isótopos quando:



Note, um detalhe muito importante: os isótopos também se diferenciam no número de nêutrons.

3.5 – ÁTOMOS ISÓBAROS

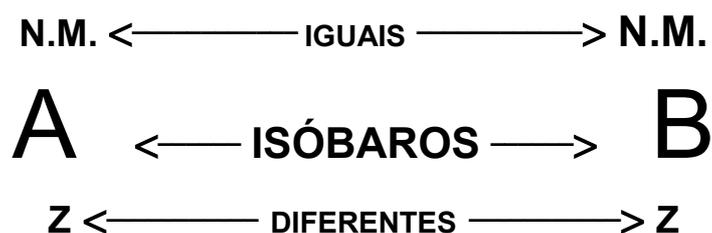
Isóbaros são átomos de elementos químicos diferentes que apresentam o número atômico diferente, porém, o número de massa igual.

Exemplo: Os elementos químicos carbono (C) e nitrogênio (N) $\Rightarrow {}^{14}_6\text{C} \quad {}^{14}_7\text{N}$

Note, que os números de massa são iguais, porém, os números atômicos são diferentes.

Outro exemplo: Existe o elemento químico ${}^{12}_6\text{C}$ que é isótopo do ${}^{14}_6\text{C}$.
O elemento químico ${}^{12}_6\text{C}$ é mais abundante na natureza do que o ${}^{14}_6\text{C}$.

Então, em termos gerais, podemos dizer que dois elementos A e B são isóbaros quando:



3.6 – ÁTOMOS ISÓTONOS

Isótonos são átomos de elementos químicos diferentes que apresentam o mesmo número de nêutrons.

Naturalmente, os isótonos também se diferenciam pelo número atômico e pelo número de massa.

Exemplo: Os elementos químicos cálcio (Ca) e potássio (K) \Rightarrow

$${}^{40}_{20}\text{Ca} \longrightarrow \text{N.M.} - Z = \text{número de nêutrons, ou seja, } 40 - 20 = 20 \\ \text{número de nêutrons} = 20$$

$${}^{39}_{19}\text{K} \longrightarrow \text{N.M.} - Z = \text{número de nêutrons, ou seja, } 39 - 19 = 20 \\ \text{número de nêutrons} = 20$$

Note, que os números atômicos são diferentes, os números de massa são diferentes, porém, os números de nêutrons são iguais.

Então, em termos gerais, podemos dizer que dois elementos A e B são isótonos quando:

$$\begin{array}{ccc} \text{N.M.} & \longleftarrow \text{ DIFERENTES } \longrightarrow & \text{N.M.} \\ \mathbf{A} & \longleftarrow \text{ ISÓTONOS } \longrightarrow & \mathbf{B} \\ \mathbf{Z} & \longleftarrow \text{ DIFERENTES } \longrightarrow & \mathbf{Z} \\ \text{NÚMERO DE NÊUTRONS} & \longleftarrow \text{ IGUAIS } \longrightarrow & \text{NÚMERO DE NÊUTRONS} \end{array}$$

* * * * *

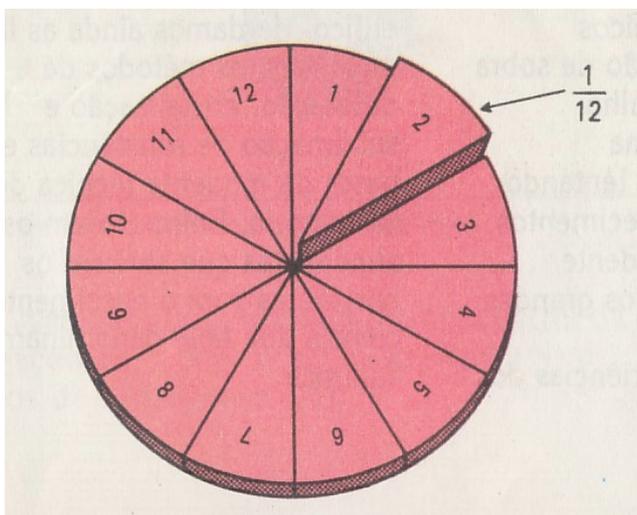
CAPÍTULO 4 – TEORIA ATÔMICO-MOLECULAR

4.1 – MASSA ATÔMICA

Quando medimos uma quantidade de massa, ou melhor, quando pesamos um objeto que podemos ver e manusear, nós o comparamos com um padrão. Por exemplo, quando pesamos uma caneta, utilizamos como padrão de medida o grama (g). Quando pesamos nosso corpo, utilizamos como padrão de medida o quilograma (Kg). Que vem a ser o quilograma? De onde o homem extraiu este padrão de medida? Um quilograma (Kg) é a massa apresentada por litro (l) de água pura a 4 graus Celsius.

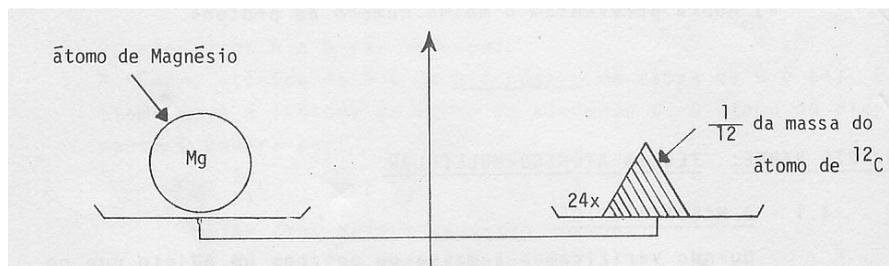
Vamos passar agora para um mundo minúsculo, o mundo dos átomos. Nós não podemos utilizar gramas ou quilogramas para pesar átomos. Temos, então, que pensar em um novo padrão de medida, um padrão de medida que se adapte ao tamanho do átomo. Este padrão de medida será a unidade de massa atômica cujo símbolo é u.m.a..

O valor de 1 u.m.a. é equivalente à massa de 1/12 do número de massa (N.M.) do isótopo do elemento químico carbono (C), ou seja, seu número de massa (N.M.) é 12 (^{12}C). Como comparação é como se pegássemos uma pizza redonda e a cortássemos em 12 fatias iguais, cada fatia desta pizza teria um peso equivalente a 1 u.m.a.. Logo, a pizza inteira, teria um peso equivalente a 12 u.m.a. Então, de acordo com tudo o que foi dito, podemos concluir que a massa atômica de um átomo do carbono ^{12}C é equivalente a 12 u.m.a.. Observemos a figura abaixo:



Agora, podemos medir o peso da massa atômica de qualquer átomo. Por exemplo, se colocarmos num lado de uma balança imaginária um átomo de magnésio (Mg), cujo número de massa (N.M.) é 24 (^{24}Mg), para obtermos o equilíbrio desta balança, precisaremos de 24 fatias equivalentes a 1/12 da massa atômica do ^{12}C , ou seja, 24 u.m.a.. Então, podemos dizer que a massa atômica

de um átomo de magnésio (Mg) é equivalente a 24 u.m.a.. Observemos a figura abaixo:



4.2 – MASSA MOLECULAR

Massa molecular é o somatório das massas atômicas dos átomos que constituem uma determinada molécula.

Exemplo: Determinação da massa molecular da água \Rightarrow H_2O

Dadas as massas atômicas do hidrogênio ($H = 1$ u.m.a.)

e do oxigênio ($O = 16$ u.m.a.).

Lendo a molécula de água (H_2O) \Rightarrow 2 átomos de hidrogênio (H) mais 1 átomo de oxigênio (O).

Calculando a massa molecular da $H_2O \Rightarrow 2 \times H + 1 \times O =$

$$2 \times 1 + 1 \times 16 = 2 + 16 = 18$$

Logo, a massa molecular da H_2O é equivalente a 18 u.m.a..

Outro exemplo: Determinação da massa molecular do ácido sulfúrico \Rightarrow



Dadas as massas atômicas do hidrogênio ($H = 1$ u.m.a.),

do enxofre ($S = 32$ u.m.a.) e do oxigênio ($O = 16$ u.m.a.).

Lendo a molécula de ácido sulfúrico (H_2SO_4) \Rightarrow 2 átomos de hidrogênio (H) mais 1 átomo de enxofre mais 4 átomos de oxigênio (O).

Calculando a massa molecular do $H_2SO_4 \Rightarrow$

$$2 \times H + 1 \times S + 4 \times O = 2 \times 1 + 1 \times 32 + 4 \times 16 = 98$$

Logo, a massa molecular do H_2SO_4 é equivalente a 98 u.m.a..

4.3 – ÁTOMO GRAMA

O átomo grama de determinado átomo, ou seja, de determinado elemento químico, é a sua massa atômica expressa em gramas.

Exemplo: Determinação do átomo grama do sódio (Na).

Dada a massa atômica do sódio ($Na = 23$ u.m.a.).

Logo, o átomo grama do Na é equivalente a 23 gramas.

Outro exemplo: Determinação do átomo grama do bário (Ba).

Dada a massa atômica do bário (Ba = 137 u.m.a.).

Logo, o átomo grama do Ba é equivalente a 137 gramas.

4.4 – MOLÉCULA GRAMA OU MOL

A molécula grama ou mol de determinada molécula, ou seja, de determinada substância química, é a sua massa molecular expressa em gramas.

Exemplo: Determinação da molécula grama ou mol da água (H₂O).

Dada a massa molecular da água (H₂O = 18 u.m.a.)

Logo, a molécula grama ou mol da H₂O é equivalente a 18 gramas.

Outro exemplo: Determinação da molécula grama ou mol do ácido sulfúrico (H₂SO₄).

Dada a massa molecular do ácido sulfúrico (H₂SO₄ = 98 u.m.a.)

Logo, a molécula grama ou mol do H₂SO₄ é equivalente a 98 gramas.

* * * * *

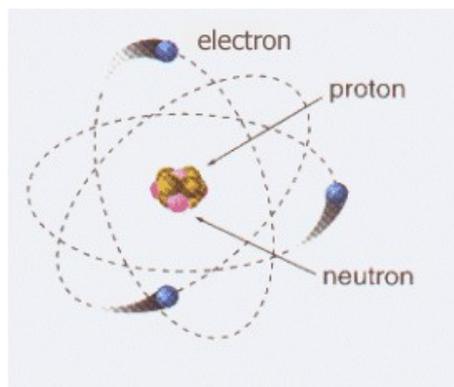
FIM DA 1ª PARTE

CAPÍTULO 5 – DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA

5.1 - DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA

Veremos e estudaremos, neste capítulo, como os elétrons estão distribuídos na envolvente ou eletrosfera.

No final do século XIX, surgiram os primeiros estudos sobre a envolvente ou eletrosfera, que diziam que os elétrons giravam em torno do núcleo, como os planetas giram em torno do Sol.



No início do século XX, o físico alemão Max Planck (1858-1947) estabeleceu uma teoria chamada de Teoria Quântica, que se propunha a estudar a física do átomo, ou seja, a distribuição de energia no átomo.

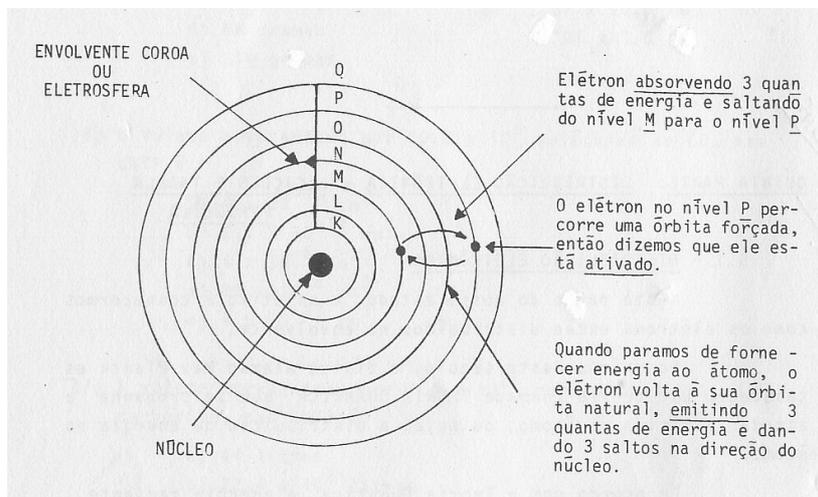
De acordo com a Teoria Quântica, as energias radiantes, tais como os raios X, raios cósmicos, entre outras, são descontínuas e se apresentam em pequenas quantidades chamadas de quantas de energia. O valor do quanta de energia varia de acordo com o tipo de radiação.

O grande passo para este estudo foi dado pelo físico dinamarquês Niels Bohr (1885-1962), no século XX, que, recorrendo à Teoria Quântica, deduziu os seguintes postulados.

(1) Os elétrons, em seu movimento natural em torno do núcleo, não absorvem e nem emitem energia. Eles giram em torno do núcleo segundo sete órbitas, camadas ou níveis energéticos, as quais são representadas pelas letras maiúsculas K, L, M, N, O, P e Q.



(2) Ao fornecermos energia ao átomo, os elétrons absorvem um número inteiro de quantas de energia e saltam na direção contrária ao núcleo. O valor deste afastamento depende do número de quantas absorvidos.



(3) O valor do quanta, necessário para ativar um elétron, é inversamente proporcional à distância do elétron ao núcleo. Isto quer dizer que quanto mais próximo do núcleo estiver o elétron, maior será o quanta de energia necessário para sua ativação, ou seja, para que o mesmo possa saltar de seu nível energético natural para um outro mais distante do núcleo.

Então, de acordo com tudo o que foi dito, podemos concluir que quando o elétron salta de um nível energético mais interior para um mais exterior, ele absorve energia; podemos também concluir que, a energia total do elétron cresce do nível energético K para o nível energético Q. Logo, um elétron no nível energético Q, apresenta maior energia acumulada (potencial) do que um elétron no nível energético K.

5.2 – NÚMEROS QUÂNTICOS

De acordo com esta variação de energia, apresentada por um elétron, atribuída a sua posição na envolvente ou eletrosfera, podemos fazer um estudo completo da sua localização dentro do átomo. Esta localização é feita através de quatro endereços energéticos, chamados de números quânticos ou estados quânticos.

Existem quatro números quânticos, correspondendo cada um a determinada posição ou comportamento dos elétrons em torno do núcleo, como segue:

1º NÚMERO QUÂNTICO ⇒ Refere-se à posição do elétron em relação à órbita, camada ou nível energético.

2º NÚMERO QUÂNTICO ⇒ Refere-se à forma geométrica da trajetória descrita pelo elétron em relação ao subnível energético.

3º NÚMERO QUÂNTICO ⇒ Refere-se ao número de orbitais de cada subnível energético.

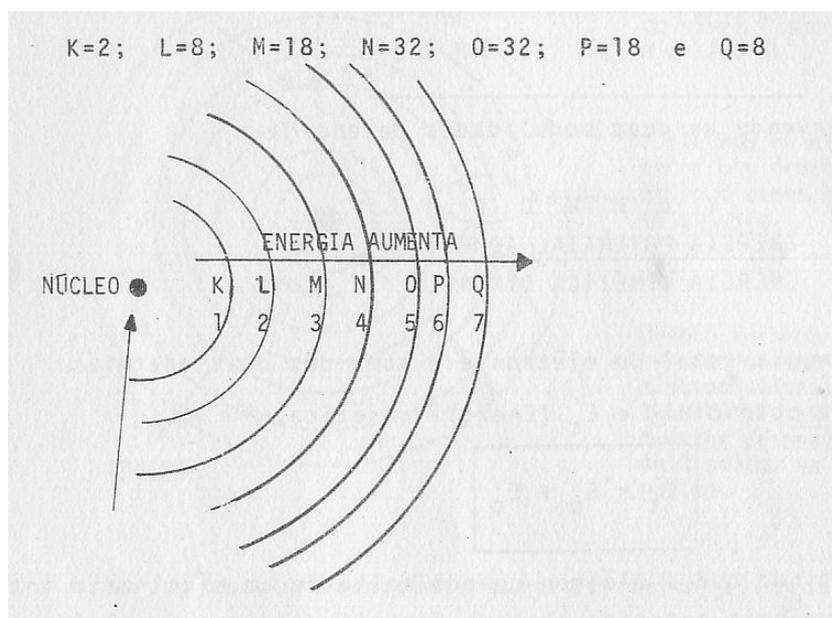
4º NÚMERO QUÂNTICO ⇒ Refere-se ao número quântico magnético ou número quântico de spins.

5.3 – ÓRBITAS, CAMADAS OU NÍVEIS ENERGÉTICOS

O primeiro número quântico, chamado de número quântico principal, refere-se à posição do elétron em relação à órbita, camada ou nível energético.

As órbitas, camadas ou níveis energéticos, como vimos anteriormente, são representadas pelas seguintes letras: K; L; M; N; O; P; e Q; que podem ser representadas, respectivamente, pelos seguintes números naturais: 1; 2; 3; 4; 5; 6 e 7.

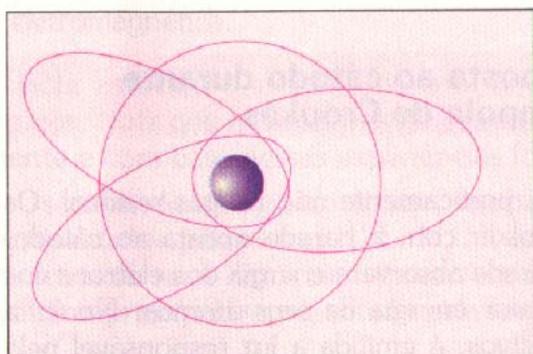
A quantidade máxima de elétrons em cada órbita, camada ou nível energético é a seguinte: K = 2; L = 8; M = 18; N = 32; O = 32; P = 18; e Q = 8.



5.4 – SUBNÍVEIS ENERGÉTICOS

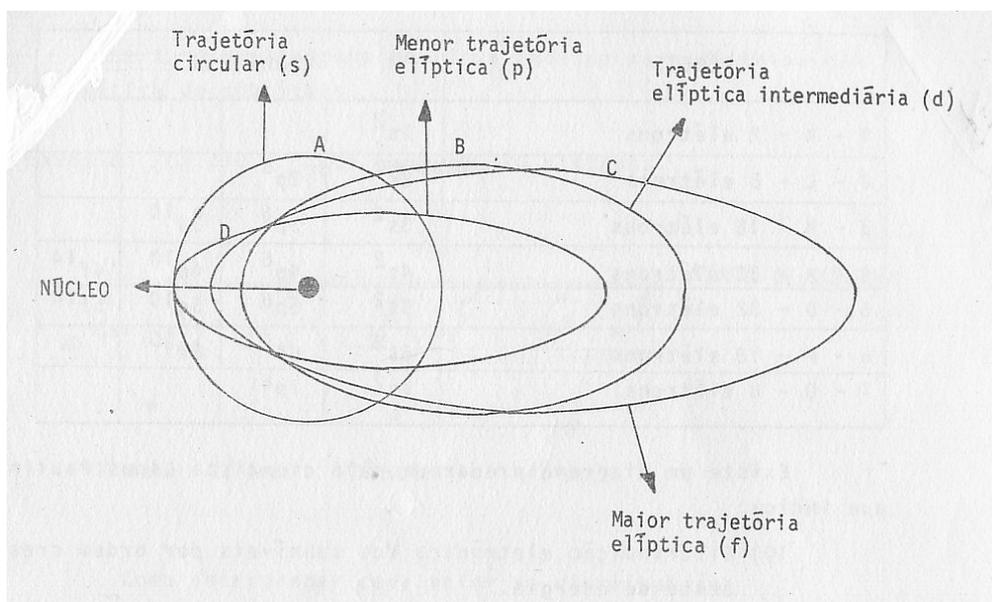
O segundo número quântico, chamado de número quântico secundário, refere-se à forma geométrica da trajetória, descrita pelo elétron, em relação ao subnível energético.

As trajetórias descritas pelos elétrons foram estudadas pela primeira vez, em detalhes, pelo físico alemão Arnold Sommerfeld (1868-1951). Este cientista afirmou que as trajetórias podem ser circulares ou elípticas. Observemos a figura abaixo:



Modelo de Sommerfeld: 4º nível de energia: 1 órbita circular e 3 elípticas.

Quando a trajetória é circular, o núcleo ocupa o centro da circunferência; quando a trajetória é elíptica, o núcleo ocupa um dos focos da elipse.



As trajetórias ou subníveis energéticos são quatro:

- (1) “s” = **sharp (nítida)** ⇒ Comporta no máximo 2 elétrons = s^2 (trajetória circular);
- (2) “p” = **principal** ⇒ Comporta no máximo 6 elétrons = p^6 (trajetória elíptica);
- (3) “d” = **difusa** ⇒ Comporta no máximo 10 elétrons = d^{10} (trajetória elíptica);
- (4) “f” = **fundamental** ⇒ comporta no máximo 14 elétrons = f^{14} (trajetória elíptica).

A energia aumenta do subnível energético “s” para o subnível energético “f”, e os subníveis energéticos, também, podem ser representados por números, da seguinte forma: $s = 0$; $p = 1$; $d = 2$; e $f = 3$.

De tudo o que foi dito, podemos concluir que cada órbita, camada ou nível energético, apresenta uma ou mais trajetórias para seus elétrons, é o mesmo que dizemos que cada órbita, camada ou nível energético, apresenta um ou mais subníveis energéticos.

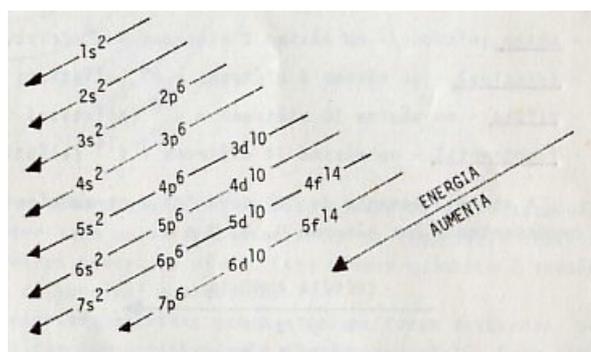
Esta distribuição de subníveis energéticos será estudada mais adiante, neste trabalho.

NÍVEIS	SUBNÍVEIS			
1 - K - 2 elétrons	$1s^2$			
2 - L - 8 elétrons	$2s^2$	$2p^6$		
3 - M - 18 elétrons	$3s^2$	$3p^6$	$3d^{10}$	
4 - N - 32 elétrons	$4s^2$	$4p^6$	$4d^{10}$	$4f^{14}$
5 - O - 32 elétrons	$5s^2$	$5p^6$	$5d^{10}$	$5f^{14}$
6 - P - 18 elétrons	$6s^2$	$6p^6$	$6d^{10}$	
7 - Q - 8 elétrons	$7s^2$	$7p^6$		

5.5 – DIAGRAMA DE LINUS PAULING

Existe um diagrama, preparado pelo químico norte-americano Linus Pauling (1901-1994), que é um modelo de distribuição de elétrons. Esse diagrama é chamado de Diagrama de Linus Pauling, também chamado de Diagrama de Distribuição Eletrônica nos subníveis energéticos, que pode ser visto na figura abaixo:

DIAGRAMA DE LINUS PAULING



O Diagrama de Linus Pauling ou Diagrama de Distribuição Eletrônica indica o seguinte:

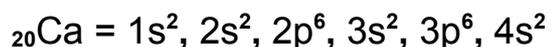
- (1) Distribuição dos elétrons nos subníveis energéticos, por ordem crescente de energia.
- (2) Distribuição dos elétrons nas órbitas, camadas ou níveis energéticos.

Para realizarmos uma distribuição eletrônica de determinado átomo ou,

também, uma distribuição energética de subníveis, basta uma leitura no sentido das setas, começando pela seta que corta o subnível energético $1s^2$.

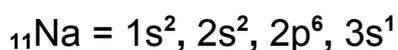
Leitura do diagrama de Linus Pauling, para distribuição dos elétrons de um átomo, nos subníveis energéticos.

Exemplo: Cálcio = ${}_{20}\text{Ca} \Rightarrow$ possui 20 elétrons a serem distribuídos nos subníveis energéticos.



Logo, temos para o átomo de ${}_{20}\text{Ca}$ a seguinte distribuição eletrônica por níveis energéticos $\Rightarrow K = 2; L = 8; M = 8; N = 2$

Outro exemplo: Sódio = ${}_{11}\text{Na} \Rightarrow$ possui 11 elétrons a serem distribuídos nos subníveis energéticos.



Logo, temos para o átomo de ${}_{11}\text{Na}$ a seguinte distribuição eletrônica por níveis energéticos $\Rightarrow K = 2; L = 8; M = 1$

5.6 – ORBITAIS

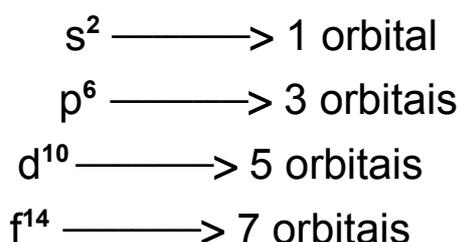
O terceiro número quântico refere-se ao número de orbitais de cada subnível energético.

Inicialmente, podemos perguntar: O que é orbital? O físico austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961) deduziu, matematicamente, que o elétron apresenta-se em regiões do espaço chamadas de orbitais. A determinação do orbital é resultado da impossibilidade de determinarmos o exato lugar onde o elétron se encontra em torno do núcleo, devido à sua velocidade.

Logo, chamamos de orbital a região do espaço onde há maior probabilidade de encontrarmos elétrons.

Num orbital existem no máximo 2 elétrons e no mínimo 1 elétron.

Observe que o número de orbitais por subnível energético é o seguinte:



5.7 – SPINS

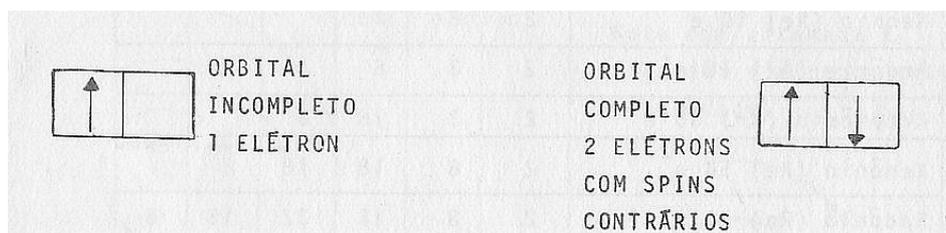
O quarto número quântico refere-se ao número quântico magnético ou número quântico de spins.

Spin é como se chama o movimento de rotação do elétron em torno do núcleo.

Sabemos que em um orbital completo, existem no máximo, dois elétrons, onde cada um deles é eletrizado negativamente. Se os dois elétrons são portadores de carga negativa, naturalmente, vão se repelir, pois, como veremos mais adiante neste trabalho, quando falarmos sobre eletricidade, veremos que cargas elétricas de sinais iguais se repelem, de sinais contrários se atraem. Para que esta repulsão não ocorra, deve haver uma força de atração para forçar o equilíbrio dos dois elétrons.

Uma partícula eletrizada em movimento de rotação, ou seja, em spin, cria um campo magnético. Se as rotações são contrárias, ou seja, se os spins são opostos, os campos magnéticos forçarão uma atração entre os dois elétrons, que resultará por neutralizar a repulsão provocada pelas cargas elétricas negativas dos elétrons.

Pode-se representar os elétrons nos orbitais e seus respectivos spins ou movimentos com o auxílio de pequenas setas, conforme apresentado na figura abaixo:



De tudo o que foi dito, podemos concluir que em um determinado orbital, existem no máximo dois elétrons com spins contrários.

* * * * *

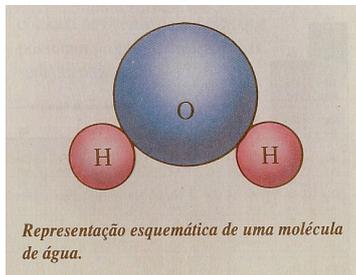
CAPÍTULO 6 – TIPOS DE LIGAÇÃO ATÔMICA

6.1 – LIGAÇÕES ATÔMICAS

Ao chegarmos a esta parte do nosso estudo, podemos dizer que já conhecemos bastante sobre a estrutura atômica. Já sabemos que a matéria é constituída por átomos, e que os átomos são as unidades representantes dos elementos químicos, existentes na natureza. Até o ano de 1992, conheciam-se oficialmente 105 elementos químicos.

Os cientistas observaram, ao longo do tempo, que os corpos que encontramos, tais como objetos, plantas, animais, entre outros, são resultado de combinações entre os átomos. Isso equivale a dizer que os materiais de que temos conhecimento são constituídos a partir dos 105 elementos químicos já estudados.

Tomemos um exemplo muito simples: você provavelmente já ouviu dizer que a água (H_2O) é constituída por hidrogênio e oxigênio e que tem a fórmula H_2O . Isso significa que cada unidade da substância pura água é constituída por dois átomos de hidrogênio (H) e um átomo de oxigênio (O). A essa unidade, de uma determinada substância, deu-se o nome de molécula. Observemos a figura abaixo:



6.2 – REGRA DE OCTETO

De acordo com tudo o que foi dito, podemos fazer a seguinte pergunta: por que os átomos se ligam uns aos outros, formando moléculas?

Há duas respostas para essa pergunta. As pessoas leigas no assunto dizem que os átomos se ligam para constituírem as substâncias e os materiais em geral. Mas em realidade, segundo os pesquisadores, os átomos se ligam uns aos outros com a finalidade de adquirirem estabilidade.

Mas que estabilidade é essa? Durante a segunda década do século XX, três cientistas, trabalhando isoladamente, se concentraram no estudo das

ligações químicas. Foram eles: o físico alemão Walther Kossel (1888-1956) e os químicos norte-americanos Gilbert Lewis (1875-1946) e Irving Langmuir (1881-1957).

Não vamos aqui repetir cada passo das experiências dos três cientistas, porém, apenas comentar os resultados.

Verificou-se que na natureza existem seis elementos químicos, encontrados, normalmente, no estado gasoso, que espontaneamente não constituem compostos químicos. São eles: (1) hélio (He); (2) neônio (Ne); (3) argônio (Ar); (4) criptônio (Kr); (5) xenônio (Xe); e (6) radônio (Rn).

Na tabela abaixo são apresentados os seis elementos químicos, mencionados acima, com a distribuição de seus elétrons nos níveis e subníveis energéticos.

ELEMENTO	K	L	M	N	O	P
Hélio (He) 2 e ⁻	2					
Neônio (Ne) 10 e ⁻	2	8				
Argônio (Ar) 18 e ⁻	2	8	8			
Kriptônio (Kr) 36 e ⁻	2	8	18	8		
Xenônio (Xe) 54 e ⁻	2	8	18	18	8	
Radônio (Rn) 86 e ⁻	2	8	18	32	18	8

Esses elementos químicos são chamados de elementos nobres ou, mais comumente, de gases nobres. Como podemos notar, eles apresentam 8 elétrons na última órbita, camada ou nível energético, com exceção do hélio (He). Essa mesma constatação despertou a atenção dos três cientistas, mencionados acima, mas não apenas isso. Estudando as estruturas atômicas de algumas substâncias, verificaram que os átomos que se ligavam para constituírem-nas, adquiriam configurações eletrônicas semelhantes às dos gases nobres.

A partir dessas idéias, surgiu em 1919, a Regra de Octeto, que apresenta o seguinte enunciado: “Ao se ligarem, os átomos tendem a ceder, receber ou emparelhar elétrons, para atingirem a configuração do elemento nobre mais próximo”. Quando conseguem, tornam-se mais estáveis.

Para que se possa compreender melhor essa busca do átomo por uma maior estabilidade, pensemos no seguinte exemplo: se você pára um carro em uma rua em declive, certamente vai precisar puxar o freio de mão, caso contrário, ele se desgovernará rua abaixo. O mesmo não acontece quando você pára um carro em uma rua plana, nesse caso, não há necessidade da utilização do freio de mão.

Dizemos que um carro que está parado em uma rua plana, está numa condição de menor energia, por isso, ele fica estável.

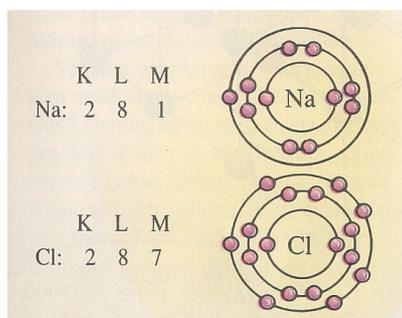
Na natureza, as coisas sempre procuram uma situação de menor energia para se estabilizar.

6.3 – LIGAÇÕES ELETROVALENTES OU IÔNICAS

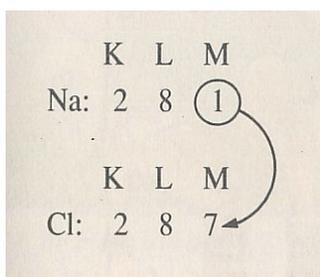
Existem, basicamente, três tipos de ligações químicas. São elas: (1) ligação eletrovalente ou iônica; (2) ligação covalente; e (3) ligação metálica.

Vamos estudar agora o primeiro tipo de ligação química, que é a ligação eletrovalente ou ligação iônica. Inicialmente, é preciso que saibamos que os átomos que possuem menos de 4 elétrons em sua última órbita, camada ou nível energético são chamados de metais, com exceção do hidrogênio (H). Por outro lado, os átomos que possuem de 5 a 7 elétrons em sua última órbita, camada ou nível energético são chamados de ametais.

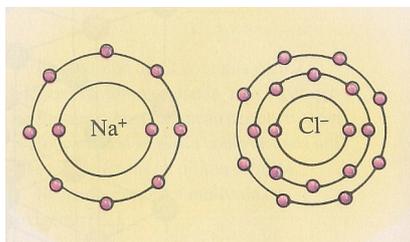
As ligações eletrovalentes ou iônicas ocorrem entre metal e ametal. Para que entendamos melhor isso, vamos apresentar um exemplo. Tomemos um átomo de sódio (Na), que tem número atômico 11 ($Z=11$), e um átomo de cloro (Cl), que tem número atômico 17 ($Z=17$). Distribuindo os seus elétrons nas órbitas, camadas ou níveis energéticos, temos:



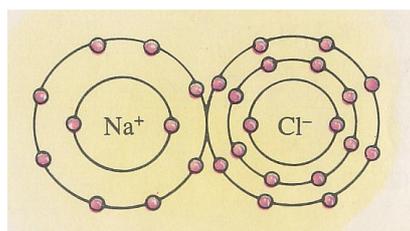
Para ficar com 8 elétrons na última órbita, camada ou nível energético, o átomo de sódio (Na) precisa ceder 1 elétron, e o átomo de cloro (Cl) precisa receber 1 elétron. Desta forma, o átomo de sódio (Na) cede seu elétron que se incorpora ao átomo de cloro (Cl):



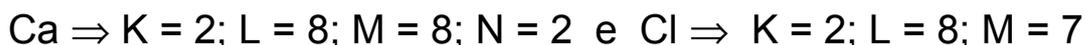
Sabemos que o número de elétrons de um átomo é igual ao número de prótons, quando o átomo está em seu estado natural, equilibrado energeticamente. Logo, se o átomo de sódio (Na) perdeu 1 elétron, ficou com uma carga positiva (próton) a mais. O contrário aconteceu com o átomo de cloro (Cl), que, ao receber 1 elétron, ficou com uma carga negativa a mais (elétron). Desta forma, temos:



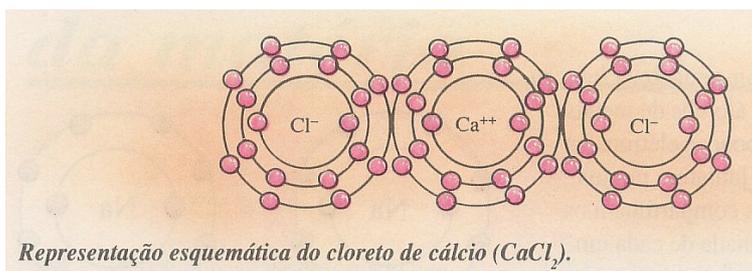
O sódio (Na) é agora um átomo com carga elétrica positiva (Na^+) e o cloro é agora um átomo com carga elétrica negativa (Cl^-). Como cargas de sinais contrários se atraem, o Na^+ e o Cl^- ficam ligados. A molécula ou composto químico constituído é o cloreto de sódio (NaCl), o maior componente do sal que é utilizado na cozinha.



Vejamos outro exemplo do que foi dito. Tomemos um átomo de cálcio (Ca), que tem número atômico 20 ($Z=20$), e um átomo de cloro (Cl), que tem número atômico 17 ($Z=17$). Distribuindo os seus elétrons nas órbitas, camadas ou níveis energéticos, temos:



Para ficar com 8 elétrons na última órbita, camada ou nível energético, o átomo de cálcio (Ca) precisa ceder 2 elétrons, mas o átomo de cloro (Cl) só precisa receber 1 elétron, a não ser que existam dois átomos de cloro (Cl). Isso mesmo, com dois átomos de cloro (Cl), cada um recebe 1 elétron do átomo de cálcio (Ca). Desta forma, o átomo de cálcio (Ca) cede seus 2 elétrons, que se incorporam aos dois átomos de cloro (Cl), como apresentado na figura abaixo:



Como aprendemos, anteriormente, se o átomo de sódio (Na) cedeu 2 elétrons, ficou com duas cargas positivas (prótons) a mais. O contrário aconteceu com o átomo de cloro (Cl), que, ao receber 1 elétron, ficou com uma carga negativa a mais (elétron).

O cálcio (Ca) é agora um átomo com cargas elétricas positivas (Ca^{++}), pois ficou com 2 prótons a mais, e cada cloro (Cl) é agora um átomo com carga elétrica negativa (Cl^-), pois ficou com 1 elétron a mais. Como as cargas de sinais contrários se atraem, o Ca^{++} e os Cl^- e Cl^- ficam ligados. A molécula ou composto químico constituído é o cloreto de cálcio (CaCl_2).

Os átomos com cargas elétricas positivas ou negativas, ou seja, com falta ou excesso de elétrons, respectivamente, são chamados de íons ou iontes.

O íon positivo recebe o nome de cátion e o íon negativo recebe o nome de ânion.

Podemos indicar, através da quantidade de sinais positivo (+) ou negativo (-), o número de elétrons em excesso ou em falta em determinado átomo.

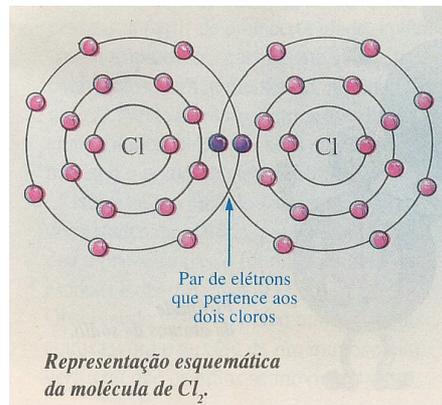
Exemplo: Quando um átomo X apresenta dois ou três elétrons a menos, representamos este íon positivo, da seguinte forma, respectivamente: X^{++} ou X^{+++} .

Quando um átomo X apresenta dois ou três elétrons a mais, representamos este íon negativo, da seguinte forma, respectivamente: X^- ou X^{--} .

6.4 – LIGAÇÕES COVALENTES

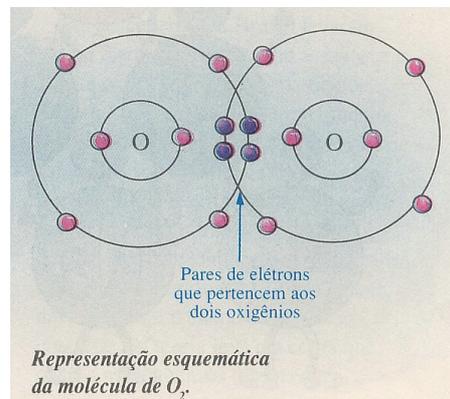
Vamos estudar agora o segundo tipo de ligação química, que é a ligação covalente. Inicialmente, é preciso que saibamos que nesse tipo de ligação não há transferência de elétrons, mas sim, o emparelhamento de elétrons. A ligação covalente ocorre entre ametais, entre ametal e hidrogênio ou entre dois hidrogênios.

Tomemos como exemplo a constituição de uma molécula de cloro (Cl_2), que, como vemos, possui dois átomos de cloro (Cl). Como o cloro (Cl) tem 7 elétrons na última órbita, camada ou nível energético, nenhum dos dois átomos de cloro irá ceder um elétron para completar o outro. O que ocorre é que as últimas órbitas, camadas ou níveis energéticos de cada átomo de cloro (Cl) se interpenetram, de tal modo, que há a constituição de um par eletrônico, para completar o octeto, conforme podemos observar na figura a seguir:



Cada átomo de cloro (Cl) continua com 7 elétrons na última órbita, camada ou nível energético, porém, o par eletrônico que se constituiu, com a interação das últimas camadas, pertence agora a ambos. Tudo ocorre como se cada um dos átomos envolvidos na ligação química tivesse, originalmente, 8 elétrons na última camada.

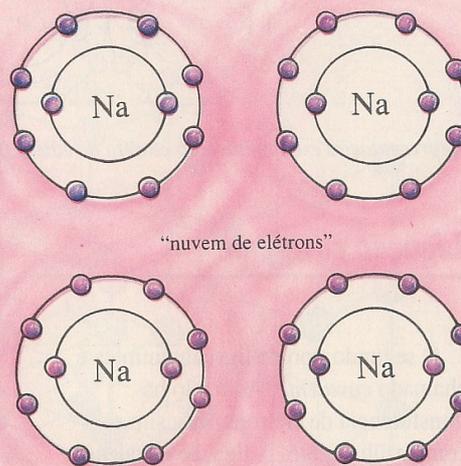
Vejamos outro exemplo do que foi dito. Tomemos a constituição de uma molécula de oxigênio (O₂), que, como vemos, possui dois átomos de oxigênio (O). Como o oxigênio (O) tem 6 elétrons na última camada, nenhum dos dois átomos de oxigênio (O) irá ceder dois elétrons para completar o outro. O que ocorre é que as últimas camadas de cada átomo de oxigênio (O) se interpenetram, de tal modo, que há a constituição de dois pares eletrônicos, para completar o octeto, conforme podemos observar na figura abaixo:



6.5 – LIGAÇÕES METÁLICAS

Vamos estudar agora o terceiro tipo de ligação química, que é a ligação metálica. Inicialmente, é preciso que saibamos que esse tipo de ligação só ocorre entre átomos de metais. Como eles possuem poucos elétrons na última camada, ao se juntarem muitos átomos metálicos, eles compartilham os elétrons da sua última camada. Desta forma, ocorre a formação de uma nuvem de elétrons, com intenso movimento em torno deles, conforme podemos observar na figura a seguir:

Como o próprio nome sugere, a *ligação metálica* ocorre entre átomos de metais. Como eles possuem poucos elétrons na última camada, ao se juntarem muitos átomos metálicos eles compartilham os elétrons da última camada de cada um. Assim, em torno deles forma-se uma “nuvem” de elétrons em movimento.



Antes de concluirmos o assunto sobre ligações químicas, apresentaremos a seguir, cinco regras básicas, que nos ajudarão no processo de reconhecimento do tipo ligação química que constitui uma determinada molécula, sem termos que, necessariamente, efetuarmos a distribuição eletrônica dos elétrons dos átomos que a constituem:

1ª REGRA ⇒ Os elementos químicos chamados de alcalinos, fazem sempre ligações químicas do tipo eletrovalente ou iônica.

São seis os elementos químicos alcalinos: (1) lítio (Li); (2) sódio (Na); (3) potássio (K); (4) rubídio (Rb); (5) célio (Cs); e (6) frâncio (Fr). Para gravarmos mais facilmente, lembremos da seguinte frase: “Li Na Karta que Roubem um Casal de Frangos”.

2ª REGRA ⇒ Os elementos químicos chamados de alcalinos-terrosos, também fazem sempre ligações químicas do tipo eletrovalente ou iônica.

São seis os elementos químicos alcalinos-terrosos: (1) berílio (Be); (2) magnésio (Mg); (3) cálcio (Ca); (4) estrôncio (Sr); (5) bário (Ba); e (6) rádio (Ra). Para gravarmos mais facilmente, lembremos da seguinte frase: “Bela Magnólia Casou-se com o Sr BaRata”.

3ª REGRA ⇒ Geralmente, os elementos químicos alumínio (Al) e prata (Ag), constituem ligações químicas do tipo eletrovalente ou iônica.

Exemplos: Algumas moléculas ou compostos químicos que são constituídos por meio de ligações químicas do tipo eletrovalente ou iônica:
NaCl, CaBr₂, KF e Na₂O.

4ª REGRA ⇒ Quando uma molécula ou composto químico apresenta apenas ligações químicas do tipo covalente, em sua estrutura, ele é chamado de composto molecular. Há maior probabilidade de constituição de compostos moleculares, quando estão presentes os seguintes elementos químicos: carbono (C); hidrogênio (H); oxigênio (O); nitrogênio (N); e enxofre (S). Para gravarmos mais facilmente, lembremos da seguinte palavra: CHONS.

Exemplos: Algumas moléculas ou compostos químicos que são constituídos por meio de ligações do tipo covalente, com alguns dos elementos químicos apresentados nesta regra:
CH₄, CO₂, CH₃NH₂ e CS₂.

5ª REGRA ⇒ Geralmente, nas moléculas das substâncias puras simples, ou seja, naquelas substâncias cuja constituição é feita por apenas uma espécie de elemento químico, as ligações químicas são do tipo covalente.

Exemplos: Algumas moléculas que são constituídas por meio de ligações químicas do tipo covalente, de acordo com o princípio apresentado nesta regra: Cl₂, O₂, N₂, e H₂.

6.6 – TABELA PERIÓDICA DE ELEMENTOS QUÍMICOS

Hoje, sabemos que toda a matéria que existe no Universo é constituída por 92 elementos químicos, e o próprio homem já criou de forma artificial, em laboratório, mais de uma dezena de outros elementos químicos.

Cada elemento químico possui um nome e um símbolo que o identifica. Esse símbolo é utilizado em todo o mundo e, geralmente, é extraído do nome do elemento químico, em latim, língua falada na antiguidade, em todo o Império Romano.

Algumas vezes, o nome do elemento químico é uma homenagem ao país de origem do seu descobridor ou criador. É o caso, por exemplo, do polônio (Po), em homenagem à Polônia, do Gálio (Ga), em homenagem à Gália, atual França.

Você deve ter notado que, com freqüência, o símbolo é, simplesmente, a inicial maiúscula do nome do elemento químico, por exemplo, hidrogênio (H), oxigênio (O), carbono (C), entre outros.

Mas alguns símbolos são formados por duas letras, a primeira maiúscula e a segunda minúscula, por exemplo, cálcio (Ca), ferro (Fe), cobalto (Co), manganês (Mn), entre outros. Isso evita que dois elementos químicos, cujos nomes começam com a mesma letra, tenham o mesmo símbolo.

Nos exemplos apresentados acima, as letras utilizadas como símbolos, remetem diretamente para os nomes dos elementos químicos em português. Mas isso, nem sempre ocorre. É o caso do chumbo, plumbum em latim, cujo símbolo é Pb.

Vejamos outros exemplos na tabela apresentada abaixo:

NOME ATUAL	NOME ORIGINAL	SÍMBOLO
Antimônio	Stibium	Sb
Chumbo	Plumbum	Pb
Cobre	Cuprum	Cu
Enxofre	Súlfur	S
Estanho	Stannum	Sn
Fósforo	Phosphorus	P
Mercúrio	Hydrargyrum	Hg
Ouro	Aurum	Au
Potássio	Kalium	K
Prata	Argentum	Ag
Sódio	Natrium	Na

Desde o século XIX, os cientistas imaginavam uma tabela que classificasse os elementos químicos, segundo as propriedades de cada um deles.

Em 1870, o químico russo Dmitri Mendeleev (1834-1907) e o químico alemão Julius Meyer (1830-1895) apresentaram, independentemente um do outro, a tão imaginada tabela.

A tabela de Mendeleev e Meyer apresentava os elementos químicos segundo uma ordem crescente de seus números de massa, dizendo que as propriedades químicas e físicas dos elementos químicos eram funções periódicas de suas massas atômicas.

No início do século XX, a tabela periódica teve sua definição com o físico inglês Henri Moseley (1887-1915), que efetuando um estudo mais profundo sobre os elementos químicos, determinou que as propriedades químicas e físicas dos elementos químicos são funções periódicas de seus números atômicos, e não de suas massas atômicas.

Desta forma, a tabela periódica de elementos químicos foi organizada por ordem crescente do número atômico (Z) dos elementos químicos que a constituem, sendo incluídos na mesma os elementos químicos naturais e os elementos químicos artificiais, perfazendo um total de 118 elementos químicos, conhecidos até o presente momento.

Existem várias formas de apresentação da tabela periódica, sendo a mais difundida a forma longa, ou seja, horizontal, como a apresentada abaixo:

TABELA PERIÓDICA DE ELEMENTOS QUÍMICOS

GRUPOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
PERÍODOS																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	(*)	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	(**)	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo
* Lantanídeos				57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
** Actinídeos				89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

Apresentamos, abaixo, uma relação dos elementos químicos, conhecidos até o presente momento. Ela foi organizada por ordem crescente de número atômico, conforme a Tabela Periódica de Elementos Químicos, apresentada acima; na mesma, constam 118 elementos químicos, naturais e artificiais, sendo apresentado o número atômico (Z), o número de massa (NM), o símbolo e o nome de cada um deles, como segue:

Z	NM	SÍMBOLO	NOME
1	1,0	H	Hidrogênio
2	4,0	He	Hélio
3	6,9	Li	Lítio
4	9,0	Be	Berílio
5	10,8	B	Boro
6	12,0	C	Carbono
7	14,0	N	Nitrogênio
8	16,0	O	Oxigênio

9	19,0	F	Flúor
10	20,2	Ne	Neônio
11	23,0	Na	Sódio
12	24,3	Mg	Magnésio
13	27,0	Al	Alumínio
14	28,1	Si	Silício
15	31,0	P	Fósforo
16	32,1	S	Enxofre
17	35,4	Cl	Cloro
18	39,9	Ar	Argônio
19	39,1	K	Potássio
20	40,1	Ca	Cálcio
21	45,0	Sc	Escândio
22	47,9	Ti	Titânio
23	50,9	V	Vanádio
24	52,0	Cr	Cromo
25	54,9	Mn	Manganês
26	55,8	Fé	Ferro
27	58,9	Co	Cobalto
28	58,7	Ni	Níquel
29	63,5	Cu	Cobre
30	65,4	Zn	Zinco
31	69,7	Ga	Gálio
32	72,6	Ge	Germânio
33	74,9	As	Arsênio
34	79,0	Se	Selênio
35	79,9	Br	Bromo
36	83,8	Kr	Criptônio
37	85,5	Rb	Rubídio
38	87,6	Sr	Estrôncio
39	88,9	Y	Ítrio
40	91,2	Zr	Zircônio
41	92,9	Nb	Nióbio
42	95,9	Mo	Molibdênio

43	98,9	Tc	Tecnécio
----	------	----	----------

44	101,1	Ru	Rutênio
45	102,9	Rh	Ródio
46	106,4	Pd	Paládio
47	107,9	Ag	Prata
48	112,4	Cd	Cádmio
49	114,8	In	Índio
50	118,7	Sn	Estanho
51	121,8	Sb	Antimônio
52	127,6	Te	Telúrio
53	126,9	I	Iodo
54	131,3	Xe	Xenônio
55	132,9	Cs	Césio
56	137,3	Ba	Bário
57	138,9	La	Lantânio
58	140,1	Ce	Cério
59	140,9	Pr	Praseodímio
60	144,2	Nd	Neodímio
61	145,0	Pm	Promécio
62	150,4	Sm	Samário
63	152,0	Eu	Európio
64	157,2	Gd	Gadolínio
65	158,9	Tb	Térbio
66	162,5	Dy	Disprósio
67	164,9	Ho	Hólmio
68	167,3	Er	Érbio
69	168,9	Tm	Túlio
70	173,0	Yb	Itérbio
71	175,0	Lu	Lutécio
72	178,5	Hf	Háfnio
73	180,9	Ta	Tântalo
74	183,8	W	Tungstênio
75	186,2	Re	Rênio
76	190,2	Os	Ósmio

77	192,2	Ir	Írídio
----	-------	----	--------

78	195,1	Pt	Platina
79	197,0	Au	Ouro
80	200,6	Hg	Mercúrio
81	204,4	Tl	Tálio
82	207,2	Pb	Chumbo
83	209,0	Bi	Bismuto
84	209,0	Pó	Polônio
85	210,0	At	Astatínio
86	222,0	Rn	Radônio
87	223,0	Fr	Frâncio
88	226,0	Ra	Rádio
89	227,0	Ac	Actínio
90	232,0	Th	Tório
91	231,0	Pa	Protactínio
92	238,0	U	Urânio
93	237,0	Np	Netúnio
94	244,0	Pu	Plutônio
95	243,0	Am	Amerício
96	247,0	Cm	Cúrio
97	247,0	Bk	Berquélio
98	251,0	Cf	Califórnio
99	252,0	Es	Einstênio
100	257,0	Fm	Férmio
101	258,0	Md	Mendelévio
102	259,0	No	Nobélio
103	262,0	Lr	Laurêncio
104	261,0	Rf	Rutherfórdio
105	262,0	Db	Dúbnio
106	266,0	Sg	Seabórgio
107	264,0	Bh	Bóhrio
108	269,0	Hs	Hássio
109	268,0	Mt	Meitnério
110	281,0	Ds	Darmstádio

51.

111	272,0	Rg	Roentgênio
-----	-------	----	------------

112	277,0	Uub	Unúnbio
113	284,0	Uut	Ununtrio
114	289,0	Uuq	Ununquadio
115	288,0	Uup	Ununpentio
116	292,0	Uuh	Ununhexio
117	291,0	Uus	Ununséptio
118	293,0	Uuo	Ununóctio

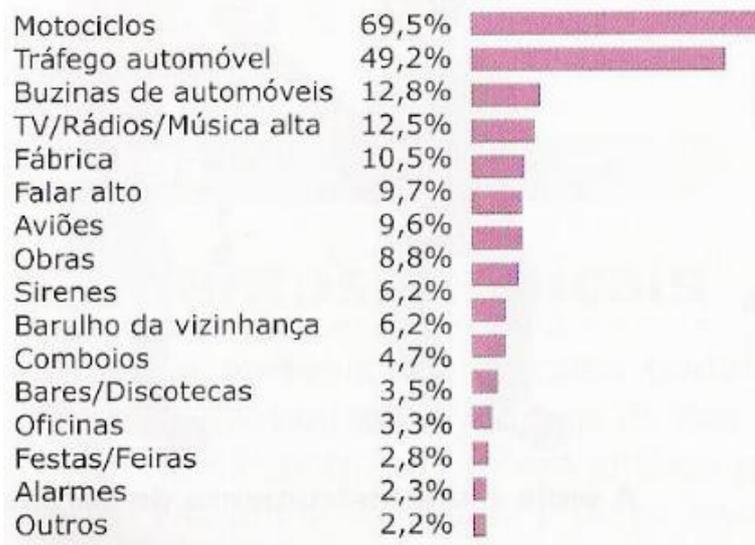
* * * * *

CAPÍTULO 7 – CONCEITOS APLICADOS DE QUÍMICA E FÍSICA

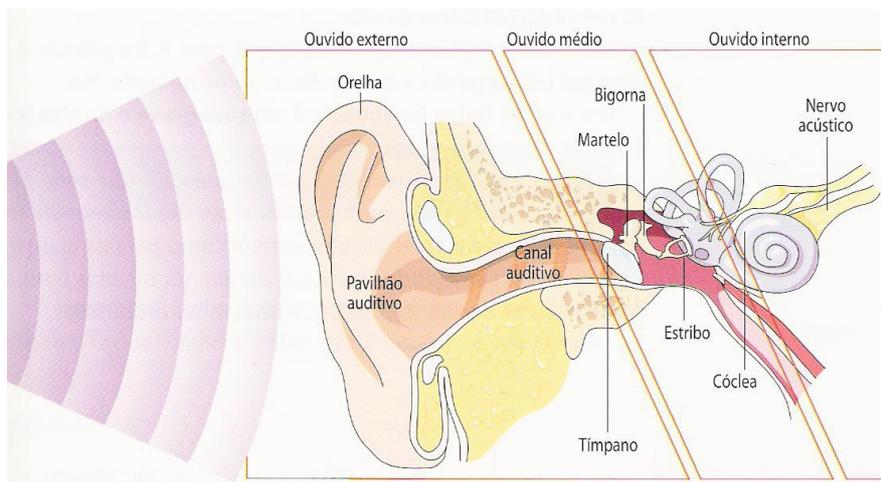
7.1 – SOM: ONDAS SONORAS

Som é tudo o que é capaz de impressionar, ou seja, sensibilizar o órgão auditivo humano. O som pode ser manifestado sob as formas de som ou ruído. Os sons, diferentemente dos ruídos, se caracterizam por apresentarem entre si relações lógicas e ordenadas, expressando, desta forma, algum tipo de significado ou mensagem.

RUÍDOS MAIS INCOMODATIVOS



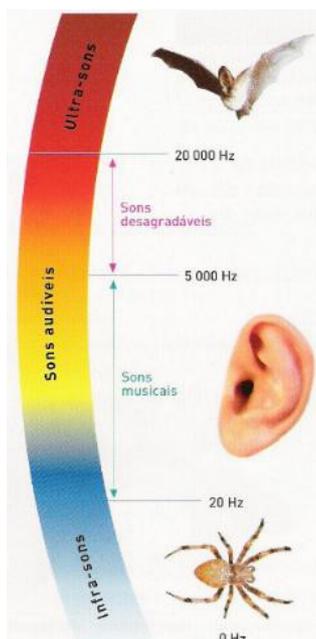
O som se expressa por meio de instrumentos musicais; da voz humana; dos animais; do choque entre objetos; de máquinas em funcionamento; da natureza em movimento; entre outros.



O ouvido humano é capaz de perceber sons compreendidos entre 20 e 20.000 vibrações por segundo. Cada vibração por segundo é chamada de ciclo ou, mais tecnicamente, de frequência, para a qual se utiliza como unidade de medida o Hertz (Hz). Desta forma, podemos dizer que o ser humano é capaz de

ouvir sons cuja freqüência esteja compreendida entre 20 Hz e 20.000 Hz. Mais adiante, neste trabalho, falaremos um pouco mais sobre freqüência.

ESPECTRO SONORO



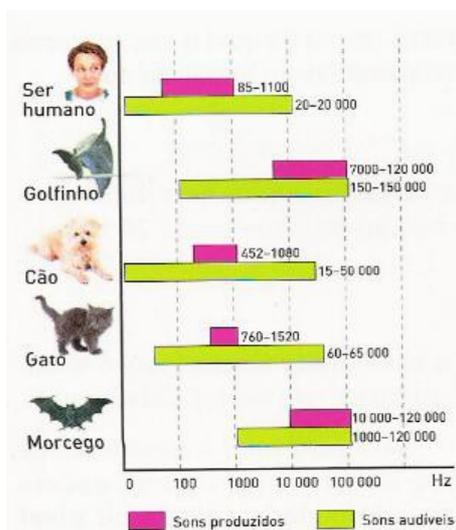
O ESPECTRO SONORO É O CONJUNTO DE TODOS OS SONS AUDÍVEIS E NÃO AUDÍVEIS PELO SER HUMANO.

Ondas sonoras de freqüências muito baixas, compreendidas entre 0 e 20 Hz, que o ouvido humano não consegue ouvir, caracterizam sons inaudíveis, sendo chamadas de infra-sons.

Ondas sonoras, compreendidas entre 20 Hz e 20.000 Hz, que o ouvido humano consegue ouvir, caracterizam sons audíveis, sendo chamadas de sons.

Ondas sonoras de freqüências muito altas, superiores a 20.000 Hz, que o ouvido humano não consegue ouvir, caracterizam sons inaudíveis, sendo chamadas de ultra-sons.

COMPARAÇÃO DE ESCALAS AUDITIVAS



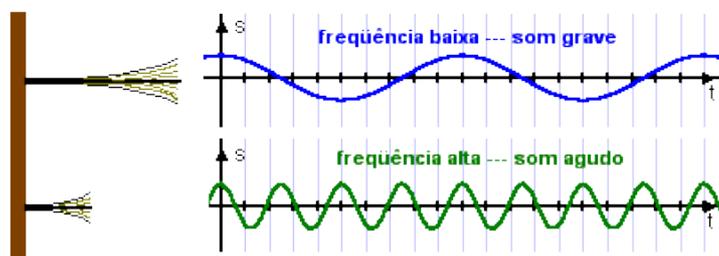
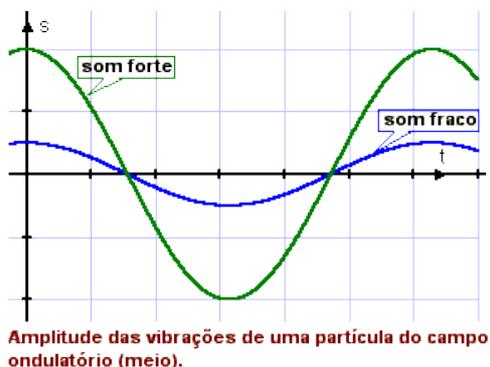
Na prática, o som assume quatro propriedades que o caracterizam, que são:

(1) ALTURA \Rightarrow É o grau de entonação; tripartindo-se os sons quanto à altura em grave, médio e agudo. Podemos, também, defini-la como sendo a propriedade que nos permite distinguir os sons graves dos sons agudos.



(2) DURAÇÃO \Rightarrow É o tempo de duração do som, ou seja, é o tempo durante o qual uma fonte emite um determinado som.

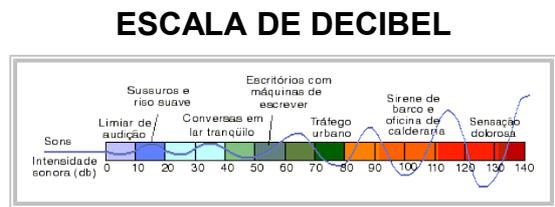
(3) INTENSIDADE \Rightarrow É o grau de força utilizado na produção de um determinado som, o qual pode dar origem a um som forte ou a um som fraco. Podemos, também, defini-la como sendo a propriedade que nos permite distinguir os sons fortes dos sons fracos.



A intensidade do som, captada pelo ouvido humano, corresponde à sensação do que se denomina, popularmente, volume do som. Quando um determinado som tem uma intensidade mínima, o ouvido humano poderá não ser capaz de captá-lo. Essa intensidade mínima de um determinado som é denominada nível mínimo de audição ou limiar de audição.

Quando a intensidade do som é elevada, o som provoca uma sensação dolorosa. A intensidade mínima de um determinado som, capaz de provocar uma sensação dolorosa no ouvido humano, é denominada nível máximo de audição ou limiar de audição da sensação dolorosa.

Para medir os sons que nos rodeiam, utiliza-se uma escala para exprimir o nível sonoro. A unidade com a qual se mede um nível sonoro é denominada Decibel (dB). A escala de decibel começa em 0 dB, que corresponde ao limite mais baixo de audibilidade. É o nível sonoro mínimo para o qual um som, com a frequência de 3.000 Hz, pode ser ouvido. O nível sonoro de 200 dB corresponde a uma explosão nuclear. Mas o nível sonoro de 120 dB corresponde ao limite mais alto de audibilidade, que assinala o limiar da dor. Conforme podemos ver na figura abaixo:



(4) TIMBRE ⇒ Podemos dizer que é a cor do som, ou seja, a característica segundo a qual podemos reconhecer a sua fonte ou origem, ou seja, a propriedade que nos permite distinguir dois sons com mesma altura e intensidade, porém, produzidos por fontes diferentes. Timbre é a identidade digital do som, ou seja, da própria fonte que o originou.

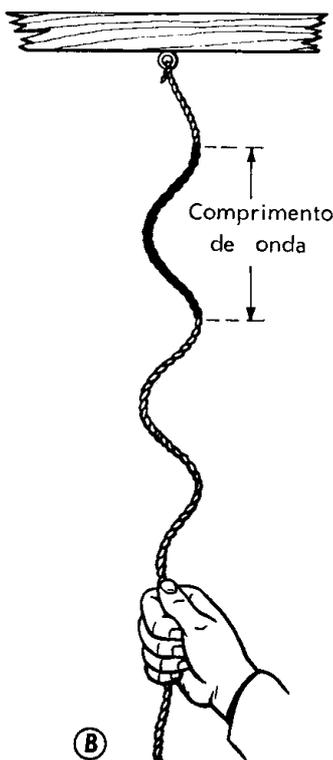
ONDA SONORA ⇒ Lance uma pedra no meio de um lago tranquilo e você observará montes e vales de água deslocando-se para a borda, sobre a superfície da água, em todas as direções. Folhas e varinhas, que flutuam sobre a superfície da água, não são transportadas pelas ondas, mas vibram para cima e para baixo, repetidamente, à medida que as ondas passam por elas. A água não é transportada pelas ondas. Você já deve ter visto rajadas de vento sobre uma plantação de trigo, os movimentos que elas produzem parecem ondas na água. O vento empurra para um lado algumas hastes de trigo, estas se inclinam contra suas vizinhas que, por sua vez, se inclinam contra outras e, desta forma, a perturbação inicial se desloca para diante. Uma onda é uma perturbação que se move através de uma substância ou meio material.



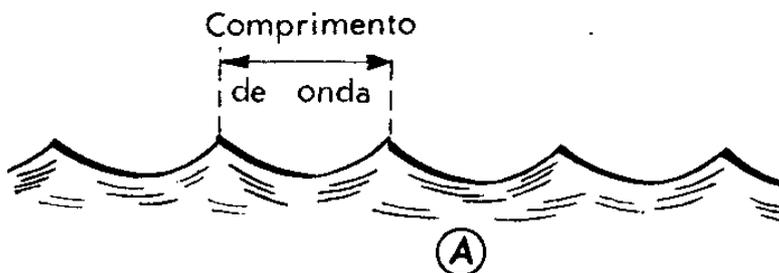
ONDAS NA ÁGUA.

As ondas sonoras propagam-se desde a fonte sonora até o receptor. Para estudar as ondas sonoras, você precisa compreender o significado de algumas palavras.

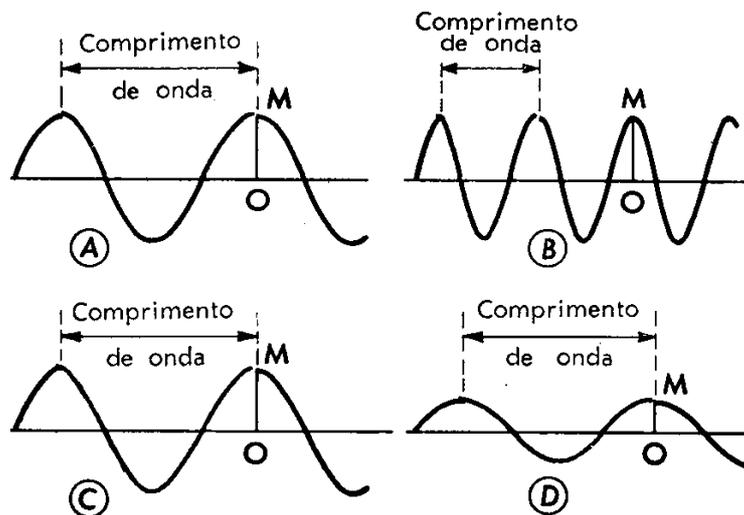
COMPRIMENTO DE ONDA ⇒ Observando as ondas de água no mar, você notará que, em certos dias, suas cristas estão afastadas, uma das outras, enquanto, noutras vezes, elas estão mais próximas, uma das outras. Quando falamos em comprimento de onda, queremos falar da distância de uma crista a outra, conforme apresentado na figura abaixo:



Ondas numa corda esticada podem ter algumas dezenas de centímetros de comprimento (figura acima). O comprimento de onda das ondulações numa bacia de lavar roupas pode ser de apenas 2 ou 3 centímetros (figura abaixo).



AMPLITUDE DE ONDA ⇒ Algumas vezes, as ondas de água sobre o mar têm alguns metros de altura, mas numa bacia são pequenas. Por amplitude de onda entendamos a altura de sua crista em relação ao nível médio da água. Isto difere da altura da onda, que é a maior distância percorrida por uma rolha de cortiça, numa bacia com ondas, quando a rolha se move para cima e para baixo.



Observando a figura acima, notamos que a amplitude O-M das ondas em A é a mesma que a amplitude O-M das ondas em B, porém, as ondas em A possuem o comprimento de onda maior do que o das ondas em B. A amplitude O-M das ondas em C é maior do que o das ondas em D, porém, as ondas em C possuem o mesmo comprimento de onda das ondas em D.

FREQÜÊNCIA DE ONDA \Rightarrow Suponhamos que você esteja numa canoa amarrada a um cais e, que as ondas elevem e abaixem a canoa repetidamente. A frequência é o número de ondas que passam pela canoa a cada segundo. As ondas sonoras têm frequências compreendidas entre 20 e 20.000 vibrações por segundo. As frequências das ondas luminosas variam entre 77×10^{13} (770 milhões de milhões) e 37×10^{13} (370 milhões de milhões) por segundo.

VELOCIDADE DA ONDA \Rightarrow Ondas de água deslocam-se com uma velocidade que pode ir desde alguns metros por hora até cerca de 40 quilômetros por hora. As ondas sonoras propagam-se no ar com uma velocidade de cerca de 340 metros por segundo. As ondas luminosas propagam-se com a maior de todas as velocidades, cerca de 300.000 quilômetros por segundo.

TRANSMISSÃO DA ONDA \Rightarrow Para que as ondas sonoras se propaguem, ou seja, possam viajar de um ponto a outro, deve haver uma substância, ou seja, um meio material, que sirva como meio de transporte ou de propagação. Isso se deve ao fato, das ondas sonoras serem ondas mecânicas e não ondas eletromagnéticas, como as ondas de rádio, também chamadas de ondas de radiofrequência, que podem se propagar até mesmo no vácuo.

Os líquidos transmitem melhor o som do que o ar. A velocidade do som na água é cerca de quatro vezes a velocidade no ar. Se você mergulhar a cabeça na água, numa banheira, e bater nesta com as palmas das mãos, você ouvirá o som com clareza. Os peixes não têm ouvidos externos, mas podem sentir as vibrações dos sons que se propagam através da água.

O som viaja com maior velocidade através de um meio sólido do que em um meio líquido, como foi dito acima. A velocidade do som no aço é cerca de quinze vezes a velocidade no ar. Faça a seguinte experiência, peça para alguém segurar um relógio de pulso a 1 metro de distância do seu ouvido. Você, provavelmente, não ouvirá o seu tique-taque através do ar. Segure uma vara com firmeza em contato com o seu ouvido, enquanto o relógio é mantido na outra extremidade em contato com a vara, agora você poderá ouvir o tique-taque do relógio claramente.

Os aviões a jato mais rápidos podem voar com velocidade maior do que a do som. Viajar a tais velocidades é difícil, porque o ar comprimido se acumula na frente do avião e este tem de furar o seu caminho, como uma bala. É por isso que se diz: “romper a barreira do som”. Ondas de choque são produzidas quando um corpo viaja através de um meio gasoso, com uma velocidade maior do que a do som. Quando a velocidade de um avião a jato se torna supersônica, a onda de choque emitida pelo avião, algumas vezes, produz um forte ruído que quebra vidros de janela nos edifícios que estão em terra.

Os sons de todas as frequências propagam-se com igual velocidade. Se isto não fosse verdade, sons agudos, de alta frequência, como os de uma flauta numa orquestra, chegariam aos seus ouvidos antes dos sons de baixa frequência, como os de um tambor, e, desta forma, a música seria deformada.

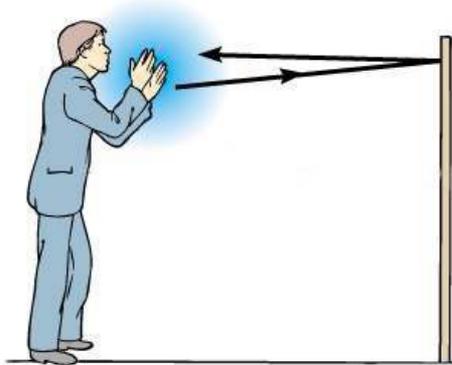


O ouvido humano é um dos cinco órgãos dos sentidos que recebe as ondas sonoras. Os sons são captados no ouvido externo, amplificados no ouvido médio e levados ao cérebro, que os interpreta, no ouvido interno.

Mas é o cérebro que tem um papel fundamental na nossa audição. É o cérebro que trata a informação recebida pelos ouvidos e procede à análise dessa informação. Por exemplo, é no cérebro que se combina a informação que nos chega aos dois ouvidos e, que nos permite concluir se uma fonte sonora está à nossa direita ou à nossa esquerda.

ECO ⇒ Quando uma onda sonora encontra um obstáculo à sua frente, ela pode retornar à sua fonte de origem, por reflexão. Para que seja produzido o eco, é

necessário existir um obstáculo que esteja pelo menos a 17 metros de distância, da fonte que emite o som; o obstáculo tem que ser constituído de um material liso e denso, e que não absorva o som, por exemplo, metais, rochas, dentre outros materiais sólidos. Observemos a figura a seguir:



A DISTÂNCIA MÍNIMA NECESSÁRIA ENTRE EMISSOR E OBSTÁCULO PARA QUE OCORRA ECO É DE 17 METROS.

O ser humano detecta dois sons que estejam separados por no mínimo 0,1 segundos de intervalo de tempo, ou seja, para a velocidade do som no ar que é de 340 metros por segundo, esse tempo representa 34 metros. Sendo assim, se o obstáculo estiver a menos de 17 metros, não conseguimos detectar a diferença entre o som que emitimos e o som que recebemos, e, desta forma, o eco não ocorre, apesar da onda ter sido refletida. O intervalo de tempo é obtido quando pegamos a distância entre a fonte emissora e o obstáculo, multiplicamos por dois e dividimos pela velocidade do som, que como vimos é de 340 metros por segundo.

Em processamento de sinal de áudio e acústica, um eco é uma reflexão de som, que chega ao ouvinte pouco tempo depois do som original (direto). Exemplos típicos é o eco produzido no fundo de uma escadaria, por um edifício, ou em uma sala, pelas paredes. Um eco verdadeiro é uma única reflexão da fonte de som.

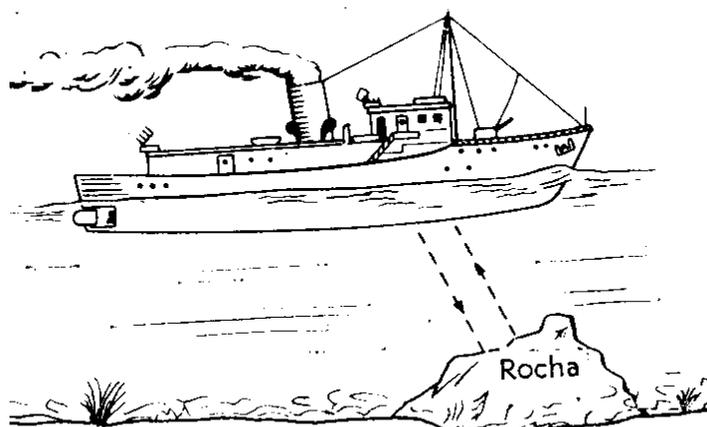
Chama-se de reverberação quando três ou mais reflexões chegam ao receptor ou ouvinte, de modo que ele não possa distinguir uma das outras.

A intensidade de um eco é, freqüentemente, medida em Decibel (dB), com relação à onda transmitida de forma direta.

Ecoss podem ser desejáveis, como nos casos do radar ou do sonar, ou indesejáveis, como no caso dos sistemas de telecomunicações.

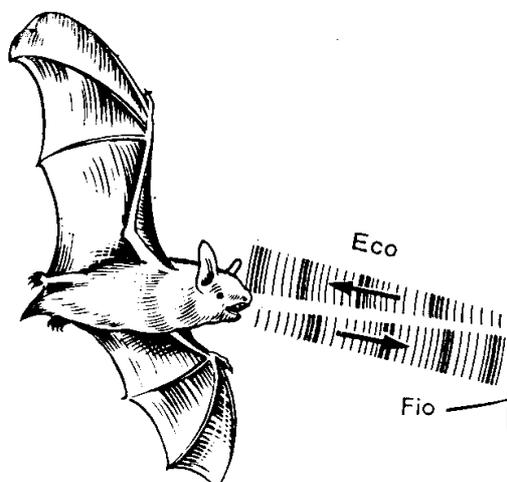
Os morcegos voam pelo eco. Você nunca ouviu a voz de um morcego, mas eles possuem voz. Você não pode ouvir um morcego porque a freqüência das ondas de sua voz é por demais alta. Um morcego emite sons com uma

freqüência de cerca de 50.000 Hertz ou ciclos por segundo, alta demais para o ouvido humano detectar. Nós podemos escutar determinados sinais em forma de bips, como um radar ou um sonar, que mede a profundidade na água. O morcego emite esses sinais para evitar a colisão contra obstáculos, por exemplo, as paredes das cavernas. À medida que ele voa, ele emite sinais sonoros, em seguida escuta o eco deles e, então sabe em qual direção e a que distância está o obstáculo a sua frente. Estudando o sistema de navegação dos morcegos, os cientistas desenvolveram o radar e o sonar. Observemos a figura abaixo:



UTILIZANDO UM SONAR OS NAVEGANTES MEDEM A PROFUNDIDADE NA ÁGUA, ATRAVÉS DE ONDAS SONORAS REFLETIDAS.

Um biólogo, recentemente, provou estes fatos através de experiências. Ele estendeu fios finos e esticados através de um quarto escuro e, neste, soltou um morcego. O morcego voou na escuridão sem colidir com nenhum fio, pois cada um dos fios refletia as ondas sonoras para seus ouvidos. Em seguida, o biólogo colocou algodão nos ouvidos do morcego, de modo que ele não pudesse ouvir, e viu que o morcego não podia evitar os choques contra os fios. Finalmente, o biólogo manteve o morcego diante de um instrumento receptor e medidor de ondas sonoras e, provou que ele estava emitindo ondas de freqüência tão altas que o ouvido humano não as podia ouvir. Observemos a figura abaixo:

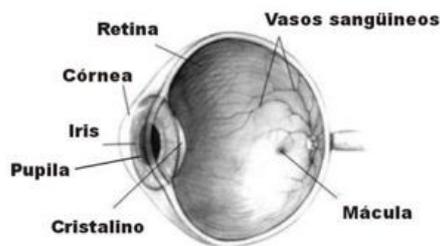


SONS REFLETIDOS PELO FIO INFORMAM AO MORCEGO A SUA PRESENÇA E ESTE SE DESVIA DO MESMO.

7.2 – LUZ: ONDAS LUMINOSAS

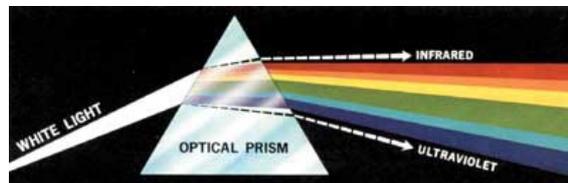
Entre os sentidos humanos a visão é o mais apurado, entretanto, esta está restrita a uma pequena faixa de ondas eletromagnéticas, conhecida como luz visível, constituída por radiações de diferentes comprimentos de onda que originam as seguintes cores: (1) vermelho; (2) alaranjado; (3) amarelo; (4) verde; (5) azul; (6) roxo; e (7) violeta.

A luz, na forma como a conhecemos hoje, é uma gama de comprimentos de onda a que o olho humano é sensível.



ANATOMIA DO OLHO HUMANO.

A luz é um tipo de radiação eletromagnética pulsante ou, num sentido mais geral, qualquer radiação eletromagnética, que se situa entre as radiações infravermelhas e as radiações ultravioletas (UV), como veremos mais adiante neste trabalho.



As três grandezas físicas básicas da luz, bem como de qualquer outro tipo de radiação eletromagnética são: (1) brilho ou amplitude; (2) cor ou frequência; e (3) polarização ou ângulo de vibração.

(1) BRILHO OU AMPLITUDE \Rightarrow É a intensidade de uma radiação luminosa, ou seja, de um raio de luz. É a definição física do conceito intuitivo de brilho de um objeto luminoso. A mais intuitiva destas propriedades é a variação da intensidade de brilho, em relação a distância existente entre a fonte luminosa e o receptor de imagem, que é descrita pela Lei de Kepler, apresentada abaixo.

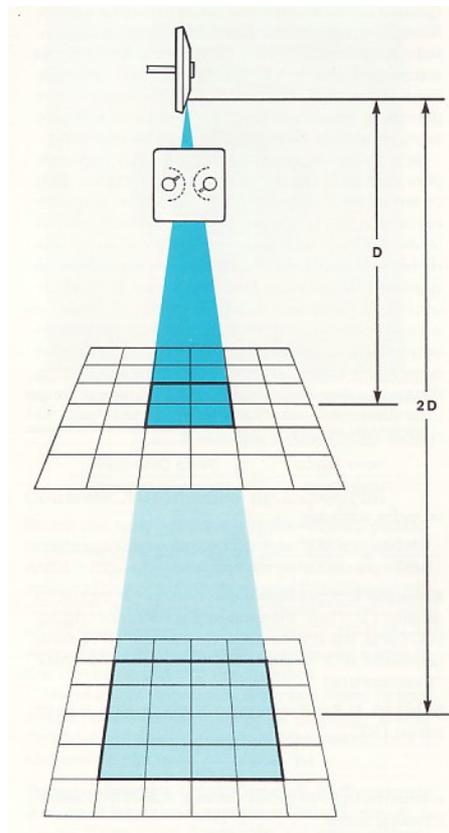
A Lei de Kepler, também chamada de Lei do Quadrado Inverso, trata das relações das distâncias entre a fonte de radiação (foco) e o receptor de imagem.

Os raios de luz, assim como os raios X, divergem em trajetórias estreitas, cobrindo uma área cada vez maior, com a diminuição de sua intensidade, conforme se afastam de sua fonte original. Este fato pode ser demonstrado pela

movimentação de uma lanterna, alimentada por pilhas elétricas, para perto ou para longe de uma folha impressa. Conforme se afasta a fonte de luz da folha impressa, a luz que a atinge é menor e menos brilhante.

A relação entre a distância e a intensidade da radiação é chamada de Lei de Kepler ou Lei do Quadrado Inverso, porque a intensidade da radiação varia inversamente, em relação ao quadrado da distância da fonte.

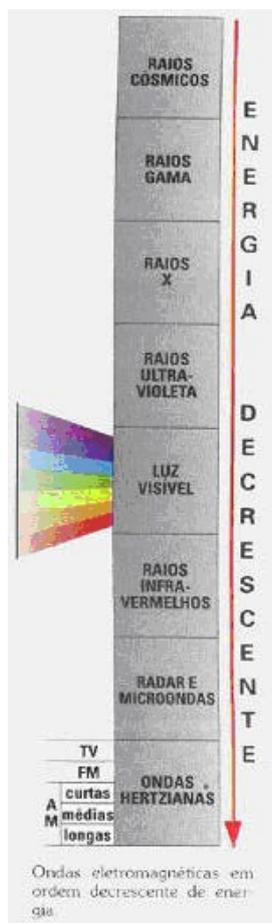
Este princípio físico, que se tornou uma lei física, foi demonstrado pela primeira vez pelo astrônomo e físico alemão Johannes Kepler (1571-1630). Ele é apresentado na figura abaixo, onde podemos observar que a mesma radiação luminosa que cobre a primeira superfície à distância “D” da fonte de emissão, se dispersa quatro vezes mais, ao dobro desta distância, à distância “2D”, onde temos que 4 é o quadrado de 2. Isto significa que a intensidade da radiação luminosa, que chega a um ponto situado na segunda superfície é 1/4 (um quarto) daquela que chega a um ponto situado na primeira superfície à distância “D”.



PRINCÍPIO DA LEI DE KEPLER EM UM CONE DE PROJEÇÃO DE UM FOCO DE LUZ.

(2) COR OU FREQUÊNCIA ⇒ É uma propriedade física da natureza das ondas eletromagnéticas, como as dos raios de luz. A cor de um objeto luminoso é determinada pelos comprimentos de onda dos raios luminosos, que as suas moléculas constituintes refletem. Um objeto terá determinada cor se não absorver, justamente, os raios correspondentes à frequência daquela cor. Desta forma, um objeto é vermelho, se absorve todos os raios de luz, exceto o

vermelho. A cor é relacionada com os diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético. Como podemos observar na figura abaixo:



As radiações luminosas são percebidas pelo ser humano e pelos animais na faixa da luz visível, através dos órgãos de visão, como uma sensação que nos permite diferenciar os objetos do espaço com maior precisão.

Considerando as cores como luz, a cor branca resulta da superposição de todas as cores, enquanto que o preto é a ausência de luz. Uma luz branca pode ser decomposta em todas as cores do espectro de luz visível, por meio de um prisma.

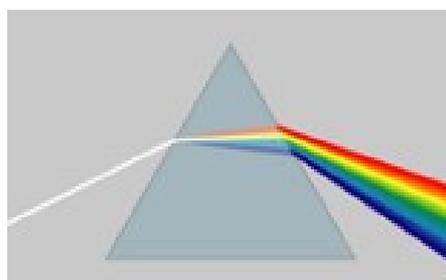


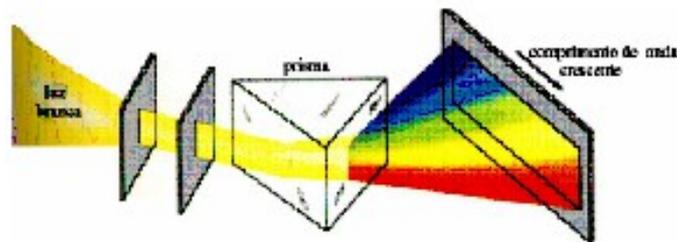
DIAGRAMA DA DISPERSÃO DA LUZ ATRAVÉS DE UM PRISMA.

Na natureza, esta decomposição dos raios de luz branca, resulta na formação de arco-íris, normalmente observado em dias de sol e chuva ao mesmo tempo. Como podemos observar na figura seguinte:

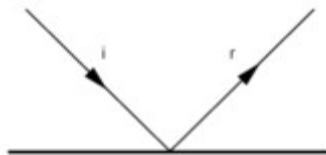


ARCO-ÍRIS.

(3) POLARIZAÇÃO OU ÂNGULO DE VIBRAÇÃO \Rightarrow É uma propriedade física das ondas eletromagnéticas, como as dos raios de luz. A luz branca oscila em todos os planos possíveis, a polarização consiste em fazê-la vibrar em apenas um plano. Para isso são utilizadas barreiras, com fendas no sentido do plano que se deseja polarizar a luz. Se você quiser polarizar a luz horizontalmente, utiliza-se uma barreira com fenda vertical. Como podemos observar na figura abaixo:



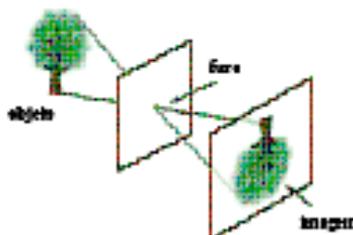
O conceito de raio de luz foi introduzido pelo físico árabe Abu Alhazen (965-1040). Um raio de luz é a representação da trajetória da luz em determinado espaço ou meio, e sua representação indica de onde a luz sai (fonte de radiação) e para onde ela se dirige (receptor de radiação).



REPRESENTAÇÃO DE DOIS RAIOS DE LUZ.

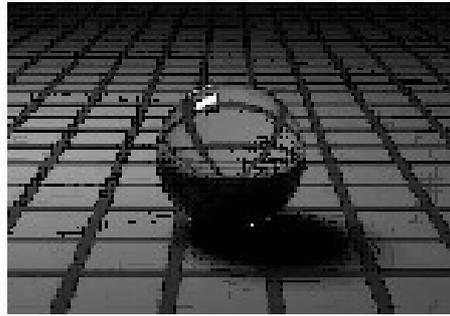
Propagando-se em um meio homogêneo, a luz sempre percorre trajetórias retilíneas.

Propagação retilínea \rightarrow óptica geométrica
(meio isotrópico)



Propagando-se em um meio não-homogêneo, a luz pode descrever trajetórias curvilíneas. Como podemos observar na figura abaixo:

Reflexão e Refração



No século I a.C. o filósofo romano Tito Lucrécio (98-55 a.C.), dando continuidade às idéias dos primeiros atomistas, escreveu que a luz e o calor do Sol eram compostos de pequenas partículas, hoje conhecidos como fótons de luz.

Em 1672, o físico inglês Isaac Newton (1642-1727), defendeu uma teoria que considerava a luz como sendo um feixe de partículas, que eram emitidas por uma fonte, e que estas atingiam o olho (receptor de imagem), e, desta forma, estimulavam a visão. A este modelo, deu-se o nome de modelo corpuscular da luz.

No século XIX, o físico francês Jean Foucault (1819-1868), descobriu que a luz se deslocava mais rápido no ar do que na água. O efeito contrariava a teoria corpuscular de Isaac Newton, esta afirmava que a luz deveria ter uma velocidade maior na água do que no ar.

Ainda no século XIX, o físico escocês James Maxwell (1831-1879), provou que a velocidade de propagação de uma onda eletromagnética no espaço, equivalia à velocidade de propagação da luz que é de cerca de 300.000 km/s.

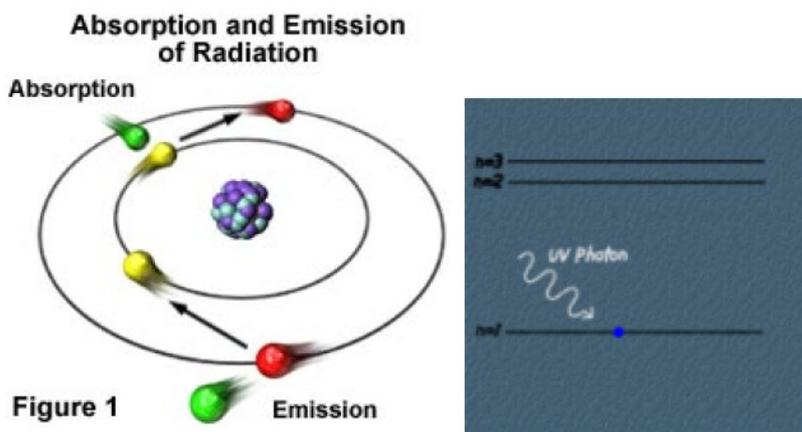
Foi de James Maxwell (1831-1879) a afirmação: “A luz é uma modalidade de energia radiante, que se propaga através de ondas eletromagnéticas”.

No final do século XIX, a teoria que afirmava que a natureza da luz era puramente uma onda eletromagnética, ou seja, a luz tinha um comportamento apenas ondulatório, começou a ser questionada.

Ao se tentar teorizar a emissão fotoelétrica, ou melhor, a emissão de elétrons, quando um condutor elétrico tem sobre si a incidência de luz, a teoria ondulatória, simplesmente, não conseguia explicar o fenômeno, pois entrava em franca contradição.

Foi o físico alemão Albert Einstein (1879-1955), utilizando a idéia do físico alemão Max Planck (1858-1947), que conseguiu demonstrar que um feixe de luz é constituído por pequenos pacotes de energia, sendo estes os fótons de luz, desta forma, assim foi explicado o fenômeno da emissão fotoelétrica. Devido à dualidade onda-partícula, a luz exibe, simultaneamente, propriedades quer de ondas eletromagnéticas, quer de partículas materiais.

A confirmação da descoberta de Albert Einstein (1879-1955) se deu no ano de 1911, quando o físico norte-americano Arthur Compton (1892-1962) demonstrou que "quando um fóton colide com um elétron, ambos comportam-se como corpos materiais".



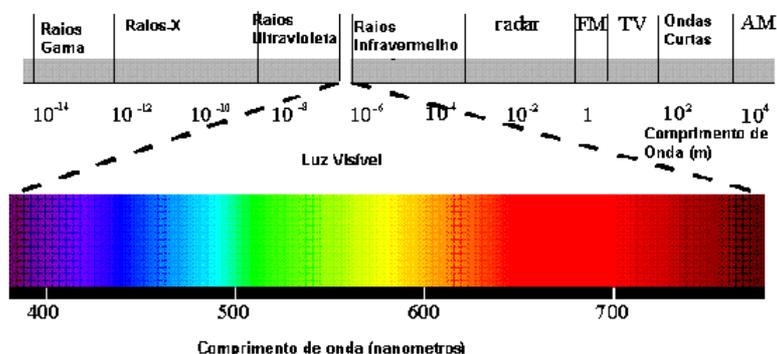
A luz visível é a parte do espectro eletromagnético, com comprimentos de onda entre cerca de 400 nanômetros (400 nm) e 700 nanômetros (700 nm), no ar. Conforme podemos observar na figura abaixo:



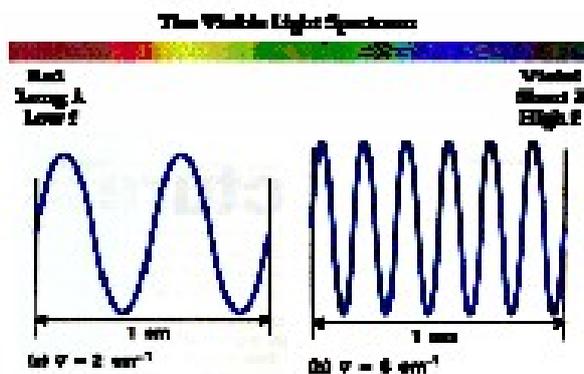
Os comprimentos de onda compreendidos entre 400 e 700 nanômetros, capazes de sensibilizar o olho humano e produzir a sensação visual, também é registrado pelas películas fotográficas comuns e pelos sensores fotossensíveis das câmeras digitais.

A partir do vermelho, com comprimentos de onda, progressivamente crescentes, estão os raios infravermelhos, as ondas de radar, as microondas, as ondas de televisão, as ondas rádio e outras formas de onda (energia) eletromagnéticas.

A partir do violeta, com comprimentos de onda, progressivamente decrescentes, estão os raios ultravioletas (UV), os raios X, os raios gama e os raios cósmicos, constituindo todo o espectro de ondas (energias) eletromagnéticas conhecido. Conforme podemos observar na figura abaixo:

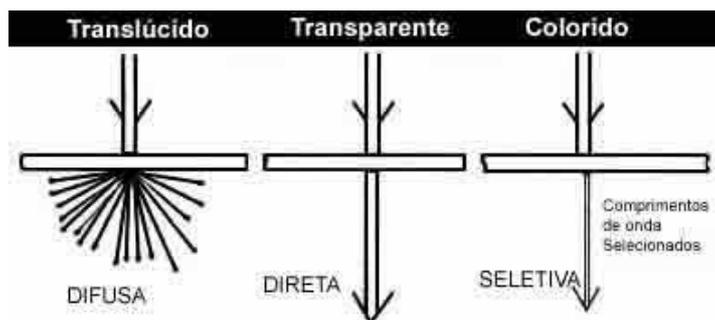


A luz também pode ser caracterizada pela frequência de sua onda. Conforme podemos observar na figura abaixo:



De acordo com a moderna física teórica, toda radiação eletromagnética, incluindo a luz visível, se propaga no vácuo, numa velocidade constante, comumente chamada de velocidade da luz, que é uma constante da Física, representada por “c”.

Toda luz propaga-se a uma velocidade finita. Até mesmo, observadores em movimento, medem sempre o mesmo valor de “c”, para a velocidade da luz no vácuo, com $c = 299.792.458$ metros por segundo; contudo, quando a luz atravessa alguma substância transparente, ou seja, translúcida, tal como o ar, a água ou o vidro, sofre refração e sua velocidade é reduzida.

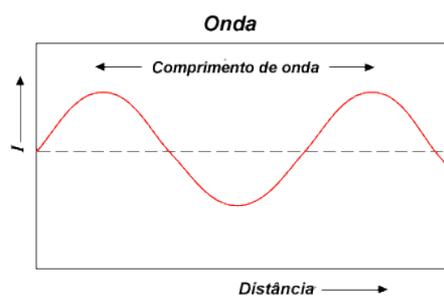


São as seguintes as quantidades e unidades, utilizadas para medir as propriedades físicas, apresentadas pela luz, segundo o Sistema Internacional de Unidades de Medida (SIUM):

- (1) Brilho, medido em watts/cm²;
- (2) Iluminância ou iluminação, medida em lux;
- (3) Fluxo luminoso, medido em lumen; e
- (4) Intensidade luminosa, medida em candela.

Em Física, comprimento de onda é a distância entre valores repetidos, num padrão de onda. É, normalmente, representado pela letra grega lambda (λ).

Numa onda senoidal, o comprimento de onda é a distância entre picos, ou seja, entre os pontos mais altos de duas ondas consecutivas. Conforme podemos observar na figura abaixo:



No gráfico acima, o eixo "x" representa a distância e o eixo "y" representa alguma quantidade periódica, como por exemplo, a pressão, no caso do som, ou o campo elétrico, no caso das ondas eletromagnéticas, ou a altura da água, no caso das ondas do mar. A altura no eixo "y" é também chamada de amplitude de onda.

O comprimento de onda, representado pelo símbolo λ (lambda), conforme vimos acima, tem uma relação inversa com a frequência (f), que é a velocidade de repetição de qualquer fenômeno periódico. O comprimento de onda (λ) é igual à velocidade da onda, dividida pela frequência da onda. Quando se lida com radiação eletromagnética no vácuo, essa velocidade é igual à velocidade da luz, que como vimos, anteriormente, é de cerca de 300.000 Km/s, para ondas eletromagnéticas no ar. Essa velocidade de 300.000 Km/s é a velocidade com a qual uma onda de luz viaja no espaço.

Quando ondas de luz e outros tipos de onda eletromagnética entram num determinado meio de propagação, o seu comprimento de onda (λ) é reduzido, por

um fator igual ao índice de refração (n) do meio de propagação, mas a frequência permanece inalterada.

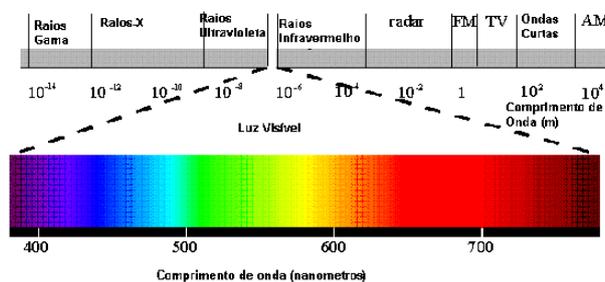
Refração



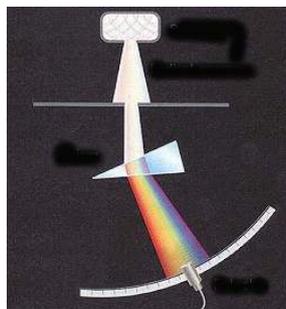
Já que estamos falando em radiação luminosa, não podemos deixar de falar sobre radiação infravermelha e radiação ultravioleta (UV), pois todas elas, de certa forma, estão interligadas, como vimos anteriormente. Não só porque estejam juntas no espectro eletromagnético, numa escala quase que contínua, mas também, porque alguns animais, podem perceber imagens nestas duas faixas de frequência vibratória, acima e abaixo da faixa vibratória que corresponde à visão humana.

Na figura abaixo, é apresentada a janela da visão humana, no espectro eletromagnético:

JANELA DA VISÃO HUMANA NO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO (LUZ VISÍVEL)

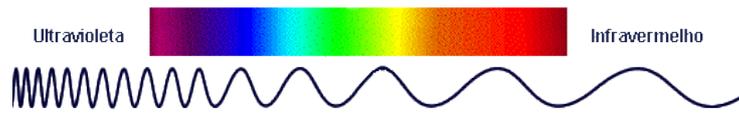


RAIOS INFRAVERMELHOS ⇒ A natureza da composição da luz branca foi demonstrada pela primeira vez pelo físico inglês Isaac Newton (1642-1727), em 1664, quando decompôs a luz do Sol por meio de um prisma, projetando-a numa tela. A imagem, alongada e colorida do Sol, foi chamada por ele de espectro.



DECOMPOSIÇÃO DA LUZ BRANCA VISÍVEL ATRAVÉS DE UM PRISMA.

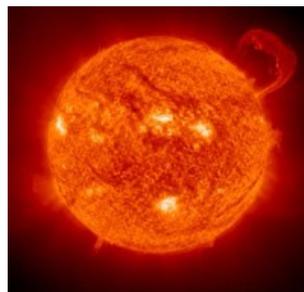
Os raios infravermelhos foram descobertos em 1800, por William Herschel (1738-1822), um astrônomo inglês de origem alemã. O nome infravermelho significa abaixo do vermelho (do latim infra), pelo fato de que o vermelho é uma cor visível, porém, com um comprimento de onda mais longo.



COMPARAÇÃO ENTRE OS COMPRIMENTOS DE ONDA ULTRAVIOLETA E INFRAVERMELHO.

William Herschel (1738-1822) colocou um termômetro de mercúrio no espectro obtido por um prisma de cristal, conforme a experiência realizada por Isaac Newton (1642-1727), com a finalidade de medir o calor emitido por cada cor do espectro de luz visível. Descobriu que o calor era mais forte ao lado do vermelho, observando que ali não havia luz. Esta foi a primeira experiência que demonstrou que o calor pode ser captado em forma de imagem, como acontece com a luz visível, sendo, desta forma, um tipo de radiação eletromagnética.

A radiação infravermelha por ser uma onda eletromagnética, adjacente à luz visível, no espectro eletromagnético, não necessita de um meio para se propagar, podendo, desta forma, se propagar no vácuo com a velocidade da luz. É assim que o calor do Sol viaja até a Terra.



O SOL FOTOGRAFADO COM CÂMERA EQUIPADA COM DETECTOR DE RAIOS INFRAVERMELHOS.

A radiação infravermelha é uma parte da radiação eletromagnética, cujo comprimento de onda é maior do que o da luz visível ao olho do ser humano; tem frequência menor do que a luz visível. O vermelho é a cor de comprimento de onda mais longo da luz visível, compreendida entre 622 nm e 770 nm. Observemos a figura abaixo:



No espectro eletromagnético, os raios infravermelhos se subdividem em infravermelhos curtos, infravermelhos médios e infravermelhos longos. Entretanto, esta classificação não é precisa porque em cada área de utilização, se tem uma idéia diferente dos limites dos diferentes tipos.

O infravermelho curto possui as mesmas propriedades da luz visível, com a diferença de que não é percebido pelo olho humano, porém, pode ser produzido por qualquer fonte luminosa e, ser estudado com os mesmos detectores de luz visível, tais como filmes fotográficos, fotocélulas, entre outros. Já o infravermelho médio requer, para ser produzido, técnicas mais refinadas. Finalmente, o infravermelho longo, que necessita de instrumentos especiais para ser produzido.

As ondas emitidas na faixa do infravermelho ou na faixa do ultravioleta, não podem ser percebidas pelos seres humanos, como foi dito acima, a não ser que estejam equipados com instrumentos capazes de receber os sinais em tais frequências, e de convertê-los para sinais visíveis pelo seu órgão de visão natural, o olho.

Porém, alguns animais, são capazes de perceber os raios infravermelhos, através de seu órgão de visão natural, o olho, ou através de outros órgãos que possuem essa finalidade específica. Como no caso das serpentes peçonhentas, que possuem um órgão chamado fosseta loreal, uma espécie de "visão" de infravermelho, que lhes permite capturar suas presas à noite. Elas possuem duas fossetas loreais, que são dois orifícios situados entre os olhos e as narinas, capazes de detectar a radiação infravermelha, transmitindo-a ao cérebro, que forma uma imagem da presa ou de qualquer objeto que emita ondas de calor.



FOSSETA LOREAL DE UMA SERPENTE.

Os raios infravermelhos são utilizados por equipamentos de visão noturna, quando a quantidade de luz visível é insuficiente para se ver os objetos de forma normal. A radiação infravermelha é detectada e depois refletida numa tela. A habilidade de perceber objetos quentes no escuro apresenta um evidente valor militar, e seu controle tem impulsionado muitas pesquisas sobre sistemas de detecção, com a utilização dos raios infravermelhos em sua tecnologia. Conforme apresentado na figura abaixo:



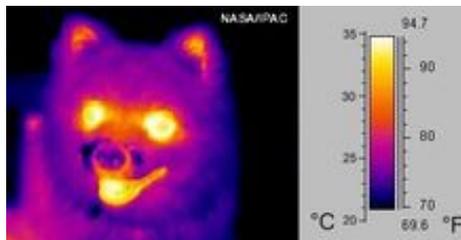
MILITARES EQUIPADOS COM ÓCULOS PARA VISÃO NOTURNA, QUE PERCEBEM OS RAIOS INFRAVERMELHOS.

Embora invisível, a radiação infravermelha pode ser percebida por suas propriedades de aquecimento. Quando um aquecedor elétrico é ligado, sente-se seu calor irradiado, antes mesmo que a resistência comece a avermelhar-se. Se o olho humano fosse sensível a radiação infravermelha, não haveria necessidade de iluminação artificial, pois tudo seria brilhante durante o dia e a noite. Os objetos mais quentes se converteriam nos mais luminosos.



CANECAS DE LOUÇA COM LÍQUIDOS QUENTES EM SEU INTERIOR.

Os corpos biológicos, na temperatura normal, emitem radiação térmica no campo dos infravermelhos.

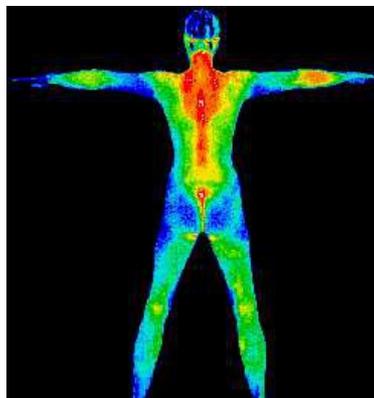


CACHORRO FOTOGRAFADO COM CÂMERA EQUIPADA COM DETECTOR DE RAIOS INFRAVERMELHOS.



GATO FOTOGRAFADO COM CÂMERA EQUIPADA COM DETECTOR DE RAIOS INFRAVERMELHOS.

Os seres vivos, principalmente os humanos, se destacariam com nitidez, por serem mais quentes e, portanto, mais brilhantes do que o ambiente.



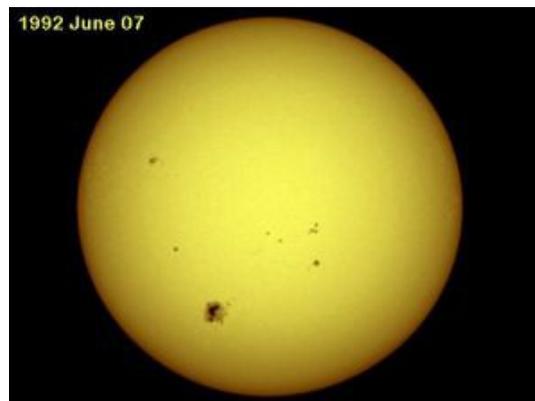
O CORPO HUMANO FOTOGRAFADO COM CÂMERA EQUIPADA COM DETECTOR DE RAIOS INFRAVERMELHOS.

Apenas os objetos frios ficariam negros. Desta forma, sem a utilização de luz artificial, seria difícil descobrir qualquer coisa que estivesse no interior dos refrigeradores.

A radiação infravermelha encontra aplicações práticas muito importantes. É utilizada, por exemplo, para aquecer ambientes, cozinhar alimentos e secar tintas e vernizes. Em medicina, tem ampla utilização com finalidade terapêutica, sendo utilizada no tratamento de sinusites, dores reumáticas e traumáticas. A radiação infravermelha penetra na pele, onde sua energia é absorvida pelos tecidos, sendo em seguida, espalhada pela circulação sanguínea.

Existem aparelhos especiais que permitem ver um objeto pela detecção das radiações infravermelhas que ele emite. Um exemplo prático é dado pelo sistema de alarme infravermelho, onde qualquer interrupção de um feixe dessas radiações ocasiona a produção de um pulso elétrico no detector de controle, ligando o alarme. Esse sistema é utilizado, também, nas portas de elevadores, para evitar que elas se fechem sobre as pessoas.

A fotografia é uma das atividades mais beneficiadas com a utilização da radiação infravermelha, como tivemos a oportunidade de ver alguns exemplos acima. Algumas emulsões fotográficas podem se tornar sensíveis a uma luz de comprimento de onda na faixa dos raios infravermelhos, próximo da luz visível.



FOTOGRAFIA DO SOL OBTIDA COM CÂMERA COMUM, PORÉM, UTILIZANDO FILME ESPECIAL PARA RADIAÇÃO INFRAVERMELHA.

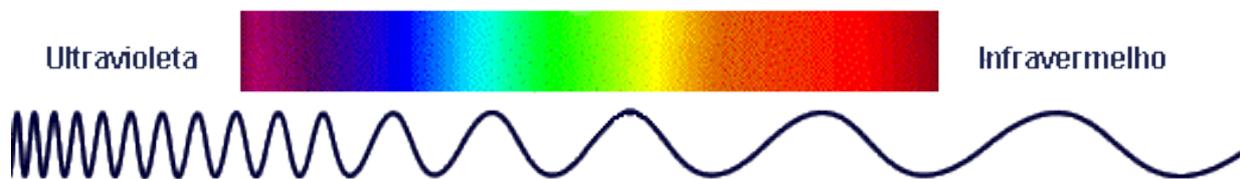
Utilizando um determinado tipo de filme fotográfico colorido, especial para raios infravermelhos, as cores dos objetos apresentam-se deslocadas de suas posições no espectro; a luz azul não aparece, os objetos verdes ficam azuis, os vermelhos mostram-se verdes e os infravermelhos colorem-se de vermelho.

Uma utilização, também muito comum, da radiação infravermelha, é na execução de comandos à distância (telecomandos); preferíveis em relação às ondas de rádio, porque não sofrem interferências de outras ondas eletromagnéticas, como por exemplo, os sinais do controle remoto de um simples aparelho de televisão.

Os raios infravermelhos também são utilizados para comunicação a curta distância, entre computadores e seus periféricos. Os aparelhos que utilizam este tipo de comunicação cumprem, geralmente, um padrão publicado pela Infrared Data Association (IDA).

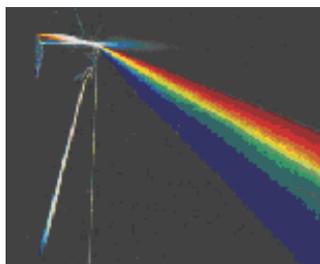
A luz utilizada na tecnologia de fibra óptica é, geralmente, do tipo infravermelha.

RAIOS ULTRAVIOLETAS ⇒ Os raios ultravioletas (UV) foram descobertos pelo físico alemão, Johann Wilhelm Ritter (1776-1810), em 1801. O nome ultravioleta significa acima do violeta (do latim ultra), pelo fato de que o violeta é uma cor visível, porém, com um comprimento de onda mais curto.



COMPARAÇÃO ENTRE OS COMPRIMENTOS DE ONDA ULTRAVIOLETA E INFRAVERMELHO.

A radiação ultravioleta (UV) por ser uma onda eletromagnética, adjacente à luz visível, no espectro eletromagnético, não necessita de um meio para se propagar, podendo, desta forma, se propagar no vácuo com a velocidade da luz. É assim que o calor do Sol viaja até a Terra.



ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO DA LUZ VISÍVEL.

O Sol é a principal fonte geradora de radiação ultravioleta (UV). A radiação ultravioleta (UV) é uma parte importante da energia ou radiação eletromagnética, que o Sol envia até a Terra. De toda a energia ou radiação que o Sol envia, os raios ultravioletas (UV) representam menos de 10%. Alguns tipos de lâmpada, bem como alguns tipos de solda, também são capazes de gerar radiação ultravioleta (UV), como veremos mais adiante neste trabalho.

A radiação ultravioleta (UV) é uma parte da radiação eletromagnética, cujo comprimento de onda é menor do que o da luz visível ao olho do ser humano; tem frequência maior do que a luz visível. O olho humano não consegue ver facilmente os raios ultravioletas (UV), porque a córnea absorve, principalmente, as radiações com comprimentos de onda mais curtos, enquanto que o cristalino absorve mais fortemente comprimentos de onda mais longos. Alguns animais,

como por exemplo, as abelhas e os pombos, conseguem perceber os raios ultravioletas (UV).

O violeta é a cor que tem o comprimento de onda mais curto da luz visível, compreendida entre 455 nm e 390 nm. Observemos a figura abaixo:



No espectro eletromagnético, a radiação ultravioleta (UV) se subdivide em ultravioleta próximo, por estar mais próximo da luz visível, com comprimento de onda de 400 nm até 300 nm; ultravioleta distante, com comprimento de onda de 300 nm até 200 nm; e ultravioleta extremo, com comprimento de onda de 200 nm até 1 nm.

No que se refere aos efeitos à saúde humana e ao meio ambiente, a radiação ultravioleta (UV) classifica-se como sendo do tipo UV-A, com comprimento de onda de 400 nm até 320 nm, também chamada de "luz negra" ou onda longa; do tipo UV-B com comprimento de onda de 320 nm até 280 nm, também chamada de onda média; e do tipo UV-C, com comprimento de onda de 280 nm até 200 nm, também chamada de onda curta ou "germicida".

A maior parte da radiação ultravioleta (UV) emitida pelo sol é absorvida pela camada de ozônio, existente na atmosfera terrestre, a uma altitude entre 25 e 35 quilômetros; só como parâmetro comparativo podemos dizer que a altitude máxima da atmosfera terrestre é de 120 quilômetros, ou seja, 120.000 metros.

A radiação do tipo UV-A não é absorvida pelo ozônio, sendo desta forma, a parte dos raios ultravioletas (UV) que mais atinge a biosfera, ou seja, a superfície terrestre, onde há vida biológica, seja ela animal ou vegetal. A quase totalidade, cerca de 99% dos raios ultravioletas (UV), que efetivamente chegam até a superfície da Terra, são do tipo UV-A. Boa parte da radiação do tipo UV-B é absorvida pelo ozônio, sendo a parte que possui maiores comprimentos de onda espalhada e atenuada, mas, mesmo assim, chega até à biosfera. A radiação do tipo UV-C praticamente é toda absorvida pelo ozônio. Pouquíssimo, ou quase nada, chega até à biosfera.

Os raios ultravioletas (UV) emitidos pelo Sol, têm energia suficiente para ionizar os átomos do topo da atmosfera, criando, desta forma, a ionosfera. Como vimos acima, a camada de ozônio, existente na atmosfera terrestre, absorve a radiação ultravioleta (UV) com menor comprimento de onda, do tipo UV-C, principal responsável pelo aumento da temperatura na estratosfera, que está

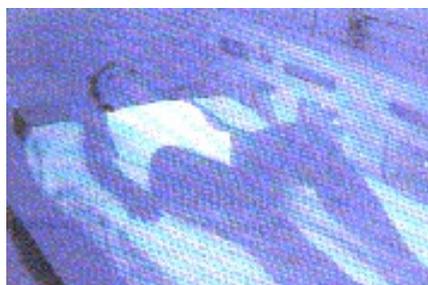
situada entre 15 e 50 quilômetros. A camada de ozônio tornou-se um tema de crescente preocupação nos anos 70, quando foi observada a sua diminuição.

Ironicamente, os raios ultravioletas (UV) atuam como catalisadores na constituição da molécula de ozônio (O_3). Os raios ultravioletas (UV) quebram as ligações que mantêm unida a molécula de oxigênio (O_2), dividindo-a em dois átomos de oxigênio (O). Quando um átomo livre de oxigênio (O) se liga à uma molécula de oxigênio (O_2), constitui-se uma molécula de ozônio (O_3).

Devido ao seu intenso efeito químico, a radiação ultravioleta (UV) produz alterações químicas na pele humana, levando ao seu escurecimento. Uma exposição à luz do Sol, ou à uma lâmpada de raios ultravioletas (UV), pode acelerar o bronzeamento da pele humana, porém, quando em excesso, pode provocar câncer de pele.

Existem certas lâmpadas ultravioletas que emitem comprimentos de onda próximos aos da luz visível. Inicialmente, eram utilizadas em silos de armazenamento de cereais, pois têm um efeito fungicida. Estas lâmpadas, também chamadas de lâmpadas de "luz negra", são muito utilizadas para obter efeitos decorativos em certos ambientes. A radiação ultravioleta (UV) destas lâmpadas é obtido, principalmente, através de uma lâmpada fluorescente, sem a proteção do componente fósforo (P), que a faz emitir raios ultravioletas (UV) e luz visível. É muito utilizada em boates, como acessório automotivo e em clínicas de estética corporal, com a finalidade de produzir bronzeamento na pele, por meio artificial.

O bronzeamento seja ele natural ou artificial, é a reação mais comum da pele à radiação ultravioleta (UV). Quando o Sol atinge nosso corpo desprotegido, sem roupa ou protetor solar, acontece um estímulo para a produção de melanina (melanogênese), pigmento que o organismo possui com finalidade fotoprotetora. A melanina é liberada na tentativa de remediar as lesões causadas no DNA da pele. Por ser um pigmento escuro, a pele escurece, ou seja, bronzeia.



CÂMARA DE BRONZEAMENTO ARTIFICIAL, COM LÂMPADAS DE RAIOS ULTRAVIOLETAS (UV), EM CLÍNICA DE ESTÉTICA.

A pele humana tem importante finalidade para o organismo além da proteção, ela está relacionada ao sistema imunológica. Desta forma, a radiação

ultravioleta do tipo UV-B pode interferir no sistema imunológico humano, através da pele. A supressão da capacidade imunológica enfraquece o sistema de defesa do organismo contra o câncer de pele e, debilita a defesa do organismo contra doenças infecciosas.

A sensibilidade ao Sol depende do tipo de pele de cada indivíduo. Abaixo é apresentada uma tabela de classificação dos fototipos cutâneos:

fototipos	descrição	sensibilidade
I - branca	queima com facilidade, nunca bronzeia	muito sensível
II - branca	queima com facilidade, bronzeia muito pouco	sensível
III - morena clara	queima moderadamente, bronzeia moderadamente	normal
IV - morena moderada	queima pouco, bronzeia com facilidade	normal
V - morena escura	queima raramente, bronzeia bastante	pouco sensível
VI - negra	nunca queima, totalmente pigmentada	insensível

Nas plantas, tanto o aumento da intensidade, quanto o aumento do tempo de exposição, à radiação ultravioleta do tipo UV-B, diminuem a atividade fotossintética, desta forma, também diminui a produção de nutrientes para a planta. Isso acontece com algumas espécies de vegetais comuns, como o rabanete, a soja, o feijão e alguns pinheiros. A radiação ultravioleta do tipo UV-B também faz com que as plantas alterem a composição química de seus tecidos, por exemplo, aumentando seu conteúdo foliar de pigmentos protetores.

A grande atividade química da radiação ultravioleta (UV) confere-lhe poder bactericida, sendo aproveitada na esterilização de alguns produtos de consumo e objetos de uso. Seu efeito bactericida faz com que seja utilizada em dispositivos de esterilização com a finalidade de manter a assepsia de certos estabelecimentos, tais como: hospitais, laboratórios farmacêuticos, indústrias de alimentos, entre outros.

Algumas substâncias, quando expostas às radiações ultravioletas (UV), emitem luz visível. Os átomos destas substâncias, chamadas fluorescentes, absorvem a radiação ultravioleta (UV) invisível, e irradiam radiação visível para o ser humano, como fazem os écrans, utilizados em radiologia médica, que absorvem os fótons X e irradiam radiação visível para o ser humano. Os ponteiros de alguns relógios contêm um pouco dessas substâncias, para serem visíveis à noite.

Outras substâncias, designadas fosforescentes, mantêm a emissão de luz visível durante algum tempo, depois de terem sido expostas a radiação ultravioleta (UV).

Devido à estas propriedades de fluorescência e fosforescência, as radiações ultravioletas (UV) são utilizadas, por exemplo, para detectar fraudes em cédulas de dinheiro ou bilhetes falsificados.

A radiação ultravioleta (UV) atua em estruturas atômicas, dissociando moléculas, rompendo algumas cadeias de carbono, muitas essenciais à vida orgânica, desta forma, afetando muito os seres vivos e, em alguns materiais plásticos e polímeros, estes últimos utilizados na composição de resinas; agindo como catalisadores químicos, na aceleração da polimerização de certos compostos químicos resinosos, do tipo fibra de vidro; e em determinadas indústrias de fabricação.

No contexto biológico, os elementos químicos relevantes, que constituem os tecidos e órgãos dos seres vivos, são o carbono (C), o oxigênio (O), o nitrogênio (N) e o hidrogênio (H). Com relação às interações com estes elementos químicos, as radiações são classificadas como sendo ionizantes ou não-ionizantes.

As radiações ionizantes são aquelas que cedem às moléculas, quantidade de energia suficiente para arrancar elétrons de suas orbitais originais e conferir-lhes energia cinética, ou seja, ionização. Como no caso dos raios X, que veremos mais adiante neste trabalho.

As radiações não-ionizantes não têm energia suficiente para provocar ionização, mas conseguem deslocar os elétrons para um nível energético superior, deixando-os em estado de ativação, acabando, desta forma, com a sua estabilidade, produzindo em seu lugar uma excitação. Existem, também, situações em que a energia é muito baixa e apenas aumenta a velocidade de rotação, translação ou vibração da molécula.

A radiação ultravioleta (UV) é não-ionizante. Seu efeito é somático, ou seja, apresenta-se apenas no indivíduo que foi irradiado, não interferindo nas gerações posteriores, ou seja, não causa problemas genéticos no mesmo; não é menos perigosa do que o efeito de uma radiação ionizante, pois ela além de atuar à nível atômico, também atua à nível molecular. A radiação ultravioleta (UV) interage com a molécula de DNA (ácido desoxirribonucléico), portadora da informação genética nas células dos seres vivos, animais ou vegetais.

A molécula de DNA absorve, principalmente, os menores comprimentos de onda da radiação do tipo UV-C, e parte dos comprimentos de onda da radiação do tipo UV-B; absorção que pode provocar a quebra de suas cadeias, implicando em alterações genéticas nos organismos vivos.

A quantidade de radiação ultravioleta (UV) que atinge a biosfera, pode ser

medida por instrumentos instalados na superfície terrestre, como os chamados piranômetros, ou estimada por instrumentos instalados em satélites artificiais, como no caso do Nimbus 7, lançado pela NASA, em 1978, equipado com o Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS), aparelho que coletou os dados que levaram à descoberta do buraco na camada de ozônio, sobre a Antártica.

Os instrumentos instalados na superfície terrestre são melhores para medição em um local específico. Necessitam de calibração e de padronização das observações. Os instrumentos instalados em satélites artificiais dão uma cobertura global, porém, as observações precisam ser corrigidas por causa das nuvens.

Os piranômetros utilizados são para ondas curtas, ou seja, medem a radiação do tipo UV-C. Abaixo são apresentados dois tipos de piranômetros:



TOTAL ULTRAVIOLET RADIOMETER (EPPLEY)
FAIXA DE FREQUÊNCIA = DE 295 nm A 385 nm
FAIXA DE TEMPERATURA = DE -40° C A 40° C
TEMPO DE RESPOSTA EM MILISEGUNDOS



**PIRANÔMETRO INSTALADO NA ESTAÇÃO BRASILEIRA DA ANTÁRTICA
(ESTAÇÃO COMANDANTE FERRAZ)**

A quantidade de radiação ultravioleta (UV) que atinge a biosfera é proporcional à altura do Sol, em relação ao horizonte local, desta forma, há uma variação diária. Os valores máximos são observados em torno das 12 horas (meio-dia). A quantidade de radiação ultravioleta (UV) é afetada por alguns fatores, conforme podemos observar na tabela apresentada a seguir:

Ozônio	A quantidade de ozônio estratosférico varia com as estações do ano, sendo menor no outono e maior no verão, e com a latitude, sendo menor no equador. O local também influencia, por causa dos buracos na sua camada, principalmente na Antártica.
Latitude	Os raios são mais diretos no equador.
Altitude	A intensidade de UV aumenta com a altitude, pois há rarefação do ar, logo ela é menos atenuada.
Tempo	A cobertura das nuvens reduz a incidência dos raios.
Reflexão	Superfícies como a neve, a areia, a grama e a água refletem a radiação, então a intensidade pode ser grande mesmo em áreas sombreadas.

Felizmente, como vimos acima, a camada de ozônio, existente na atmosfera terrestre, absorve o que poderia constituir feixes letais de raios ultravioletas (UV).

A atividade humana, com relação às substâncias destruidoras da camada de ozônio, e com às mudanças climáticas, irão determinar as mudanças a longo prazo. Se o quadro se mantiver estável, os cientistas acreditam que a camada de ozônio estará restabelecida até 2050. A própria natureza, por si só, se regenerará.

7.3 – ELETRICIDADE: ONDAS ELÉTRICAS

Eletricidade é um fenômeno físico, originado por cargas elétricas que se encontram em repouso, em movimento ou pela interação das duas.

Quando uma carga elétrica se encontra em repouso, produz forças de atração ou de repulsão sobre outras situadas à sua volta. Uma carga elétrica em repouso é chamada de carga elétrica estática, ou simplesmente, eletricidade estática. São cargas elétricas que não se encontram em movimento, ou seja, não estão percorrendo um condutor elétrico. Se a carga elétrica se desloca, produz também forças magnéticas. Que veremos mais adiante neste trabalho.

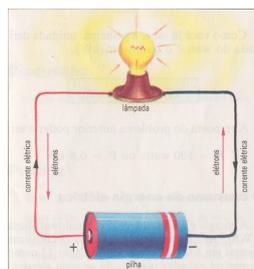
Há dois tipos de cargas elétricas, chamadas positivas e negativas. As cargas elétricas de nome igual se repelem e as de nome diferente se atraem.



O ELETROSCÓPIO SERVE PARA DETECTAR A PRESENÇA DE ELETRICIDADE ESTÁTICA NOS CORPOS.

A eletricidade está presente em algumas partículas sub-atômicas. A partícula mais leve que leva carga elétrica é o elétron, que transporta uma unidade de carga elétrica negativa. Cargas elétricas de valor menor são tidas como existentes em quarks, como vimos anteriormente.

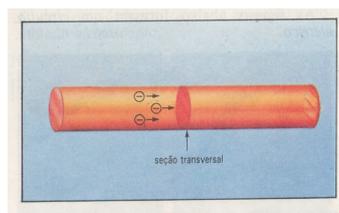
Os átomos, em circunstâncias normais, contêm elétrons e, freqüentemente, os que estão mais afastados do núcleo, se desprendem com muita facilidade. Em algumas substâncias, como nos metais, proliferam-se os elétrons livres. Desta forma, um corpo fica carregado eletricamente graças à reordenação dos seus elétrons. Um átomo normal tem quantidades iguais de cargas elétricas positiva e negativa, portanto, está eletricamente neutro. A quantidade de carga elétrica, transportada por todos os elétrons de um átomo, que por convenção é negativa, está equilibrada pela carga positiva, localizada no núcleo, os prótons. Se um corpo contém um excesso de elétrons, ficará carregado negativamente. Ao contrário, com a falta de elétrons, um corpo ficará carregado positivamente, devido ao fato de que há mais cargas elétricas positivas no núcleo. Os elétrons caminham sempre no sentido de onde há excesso deles (pólo negativo) para onde há falta deles (pólo positivo). Conforme apresentado na figura abaixo:



SENTIDO DO PERCURSO DOS ELÉTRONS EM UM CIRCUITO ELÉTRICO.

Podemos dizer, de forma resumida, que eletricidade é a passagem de elétrons através de um meio condutor, como veremos a seguir.

CONDUTOR ELÉTRICO \Rightarrow Em eletricidade, condutor elétrico é qualquer meio através do qual se propaga a corrente elétrica, ou seja, que permite a livre circulação de cargas elétricas, através do seu material. O fluxo de cargas elétricas ocorre com facilidade em um bom condutor elétrico, o que não ocorre em um mau condutor elétrico, também chamado de isolante elétrico. Bons condutores elétricos são: ouro, prata, metal, cobre, alumínio, entre outros. Observemos a figura abaixo:



SEGMENTO DE UM CONDUTOR ELÉTRICO.

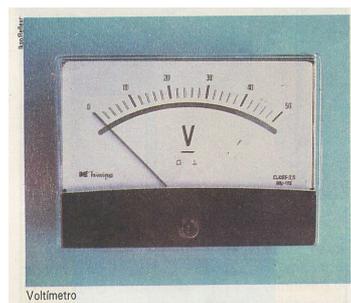
Há materiais que são chamados de semi-condutores elétricos, eles são, ao mesmo tempo, bons e maus condutores de corrente elétrica. Alguns dispositivos elétricos, que utilizam estas propriedades elétricas em seus materiais, são chamados de dispositivos eletrônicos ou componentes eletrônicos.

Um condutor elétrico, ao ser percorrido por uma corrente elétrica, se aquece. Num ferro de passar roupa, num secador de cabelo ou numa estufa elétrica, o calor é produzido pela corrente elétrica que atravessa um fio metálico especial, chamado de resistência elétrica. Esse fenômeno, chamado de Efeito Joule, deve-se ao choque dos elétrons da corrente elétrica contra os átomos que constituem o material do condutor elétrico ou da resistência elétrica. Em decorrência desse choque, a energia cinética média, de oscilação de todos os átomos, aumenta. Isso se manifesta como um aumento da temperatura do condutor elétrico ou da resistência elétrica.

ISOLANTE ELÉTRICO ⇒ Em eletricidade, isolante elétrico é qualquer meio através do qual não se propaga a corrente elétrica, ou seja, que não permite a livre circulação de cargas elétricas, através do seu material. Bons isolantes elétricos são: porcelana, plástico, silicone, vidro, madeira, borracha, entre outros. Desta forma, estes materiais são considerados maus condutores elétricos.

TENSÃO ELÉTRICA ⇒ Em eletricidade, tensão elétrica é a diferença de potencial elétrico entre dois pontos, ou seja, dois pólos. Sua unidade de medida é o volt (V), o nome é em homenagem ao físico italiano Alessandro Volta (1745-1827). Devemos ter em mente que a palavra "voltagem" não é o termo técnico correto; é um erro empregá-lo na língua portuguesa. Devemos empregar sempre o termo tensão elétrica.

Para facilitar o nosso entendimento, do que seja tensão elétrica, podemos fazer uma comparação desta com a pressão hidráulica. Quanto maior a diferença da pressão hidráulica entre dois pontos, maior será o fluxo de água, caso haja comunicação entre estes dois pontos, neste caso, um tubo de água. O fluxo de água, que em eletricidade corresponde a corrente elétrica, será, desta forma, uma resultante da pressão hidráulica (tensão elétrica) e da oposição à passagem (resistência elétrica) da água pelo tubo. O instrumento utilizado para medir voltagem é chamado de voltímetro, conforme apresentado na figura abaixo:

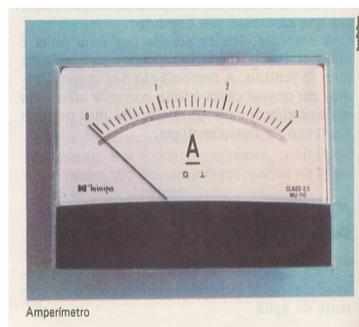


CORRENTE ELÉTRICA ⇒ Em eletricidade, corrente elétrica é o fluxo ordenado de elétrons através de uma determinada seção ou segmento de um condutor elétrico. Os raios também são exemplos de corrente elétrica, bem como o vento solar, este último constituído não por ar, mas sim, pela emissão de prótons e elétrons.



O RELÂMPAGO É A ELETRICIDADE EM SUA MANIFESTAÇÃO NATURAL MAIS IMPONENTE.

A unidade padrão, no Sistema Internacional de Unidades de Medida (SIUM,) para a medida de intensidade, ou seja, da quantidade de corrente elétrica é o ampère (A). A corrente elétrica é também chamada, informalmente, de amperagem. Embora seja um termo válido, alguns profissionais da área evitam o seu emprego. A quantidade de corrente elétrica em uma seção ou segmento de um condutor, define-se como sendo a carga elétrica que o atravessa, em uma determinada unidade de tempo, que é representada por segundos (s). O instrumento utilizado para medir amperagem é chamado de amperímetro, conforme apresentado na figura abaixo:

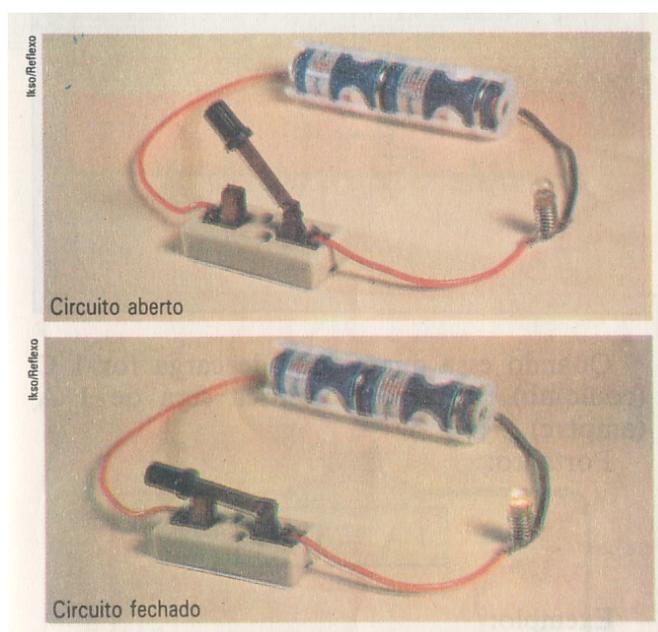


RESISTÊNCIA ELÉTRICA ⇒ Em eletricidade, resistência elétrica é a propriedade que determinado material apresenta, em se opor à passagem de uma corrente elétrica através dele, quando existe uma diferença de potencial aplicada. Seu cálculo é determinado pela Lei de Ohm, e, segundo o Sistema Internacional de Unidades de Medida (SIUM), é expressa em ohms (Ω).

Quando uma corrente elétrica é aplicada a um meio condutor, um número muito elevado de elétrons livres passa a se deslocar através do mesmo. Nesse movimento, os elétrons chocam-se entre si e, também, contra os átomos que

constituem o material do condutor. Portanto, os elétrons encontram uma certa dificuldade para se deslocarem, isto é, existe uma resistência à passagem da corrente elétrica através do meio condutor. Para medir essa resistência, os cientistas definiram uma grandeza que denominaram resistência elétrica.

O filamento de uma lâmpada elétrica é um bom exemplo de resistência elétrica. Quando uma corrente elétrica atravessa o filamento de uma lâmpada, ele encontra uma resistência elétrica, tão grande, que ele incandesce, produzindo, desta forma, ondas luminosas, chamadas de luz. Observemos a figura abaixo:



FILAMENTO DE UMA LÂMPADA ELÉTRICA PRODUZINDO LUZ POR CAUSA DE SUA INCANDESCÊNCIA.

São fatores que influenciam no valor de uma resistência elétrica:

- (1) A resistência elétrica de um meio condutor é tanto maior quanto maior for o seu comprimento linear.
- (2) A resistência elétrica de um meio condutor é tanto maior quanto menor for a área de sua seção (segmento) reto, isto é, quanto mais fino for o condutor elétrico.
- (3) A resistência elétrica de um meio condutor depende do material de que ele é constituído.

A Lei de Ohm, postulada pelo físico alemão Georg Ohm (1789-1854), descreve a relação entre a intensidade ou quantidade de corrente elétrica e a tensão elétrica, em um fluxo de elétrons através de um meio condutor. A Lei de Ohm descreve o seguinte: a diferença de potencial elétrico ou tensão elétrica é diretamente proporcional à intensidade da corrente elétrica e à resistência elétrica.

CORRENTE ALTERNADA ⇒ A corrente alternada (CA), em inglês AC (Alternating Current), é uma corrente elétrica cuja intensidade e sentido do fluxo de elétrons, em um meio condutor, varia ciclicamente, ao contrário do que ocorre na corrente contínua (CC), em inglês DC (Direct Current), que possui pólos positivo e negativo, definidos. A corrente contínua (CC) tem um fluxo de elétrons constante, enquanto que a corrente alternada (CA) tem um fluxo de elétrons de média zero, ainda que não tenha valor nulo todo o tempo. Esta definição de corrente alternada (CA) implica que o fluxo de elétrons muda de sentido continuamente.

A corrente alternada (CA) é a forma mais eficaz de se transmitir uma corrente elétrica por longas distâncias. Na corrente alternada (CA), a corrente elétrica inverte o seu sentido, várias vezes por segundo. Ela também apresenta certa facilidade em ter o valor de sua tensão alterado, por intermédio de transformadores. Desta forma, é adotada em grande escala para transmissão de energia elétrica a longas distâncias em todo o mundo. No entanto, as primeiras experiências de transmissão de corrente elétrica por longas distâncias, foram feitas com corrente contínua (CC).

CORRENTE CONTÍNUA ⇒ Corrente contínua (CC), em inglês DC (Direct Current), também chamada de corrente galvânica, é um fluxo de elétrons em um meio condutor de forma constante e ordenada, sempre em um mesmo sentido. Neste tipo de corrente elétrica, as cargas elétricas são polarizadas, pois apresentam pólos positivo e negativo, definidos. Nele, a intensidade da corrente elétrica cresce no início até um ponto máximo e, aí se mantém de forma contínua, sem alterar. Quando o circuito é desligado, diminui até zero e se extingue.

A corrente contínua (CC) é gerada por meio de geradores de CC, podendo ser armazenada em reservatórios chamados de baterias, do tipo utilizada em automóveis ou motos, as quais fornecem 6, 12 ou 24 volts (V), sendo chamadas de baterias não-secas, por utilizarem em seu interior substância ácida (eletrólito) em estado líquido. A corrente contínua (CC) também pode ser armazenada em pequenas baterias, consideradas baterias secas, por utilizarem em seu interior substância ácida (eletrólito) em estado gelatinoso, as quais normalmente fornecem uma tensão elétrica de 9 volts (V), no caso das chamadas baterias, ou de 1,2 a 1,5 volts (V), no caso das chamadas pilhas.

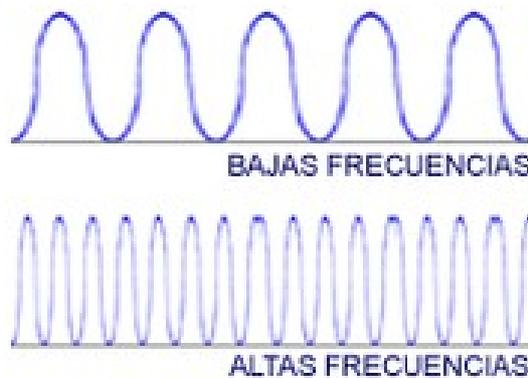
Outras formas de ser gerada corrente contínua (CC) é com a utilização de dínamos, de painéis solares ou de fontes de alimentação elétrica, estas últimas utilizam componentes eletrônicos em seu interior, os quais retificam a corrente alternada (CA), transformando-a em corrente contínua (CC).

A corrente contínua (CC) normalmente é utilizada para alimentar, eletricamente, aparelhos eletrônicos que necessitam de 1,2 a 24 volts (V), e

circuitos digitais de equipamentos de informática, tais como computadores, modems, entre outros.

FREQÜÊNCIA ELÉTRICA ⇒ Em eletricidade, freqüência é um termo empregado para designar a repetição de qualquer fenômeno em um período de tempo, tecnicamente, freqüência elétrica é a ocorrência de determinado número de oscilações num período de tempo de 1 segundo.

A unidade de medida de freqüência elétrica é o hertz (Hz), em homenagem ao físico alemão Heinrich Hertz (1857-1894). 1 Hz corresponde a um ciclo de freqüência elétrica que ocorre uma vez por segundo. A freqüência elétrica de uma variação de uma onda elétrica, por exemplo, pode ser obtida, medindo-se a quantidade de ondas elétricas completas, ou seja, os ciclos completos que ocorrem em uma unidade de tempo, normalmente medido em segundos. Desta forma, se num intervalo de tempo de 1 segundo ocorrerem 10 ciclos completos em uma onda elétrica, teremos uma freqüência de 10 Hz.



DUAS FREQÜÊNCIAS DIFERENTES, DUAS FORMAS DE ONDA DIFERENTES.

Na primeira metade do século XX, haviam sistemas elétricos de Corrente Alternada (CA) de 25 Hz no Canadá (Ontário) e no norte dos EUA. Em alguns casos, alguns destes sistemas elétricos, por exemplo, nas quedas do Niágara, perduram até hoje, por conveniência das empresas de geração de energia elétrica, juntamente com proprietários de grandes indústrias, que não têm interesse em trocar o equipamento existente por um de 60 Hz. As baixas freqüências facilitam e barateiam a fabricação de motores elétricos de baixa rotação, ou seja, que geram ou que utilizam baixa freqüência.

Há também sistemas elétricos de 16,67 Hz em ferrovias da Europa (Suíça e Suécia). Sistemas elétricos de corrente alternada (AC) de 400 Hz são utilizados na indústria têxtil, aviões, navios, espaçonaves e em grandes computadores.

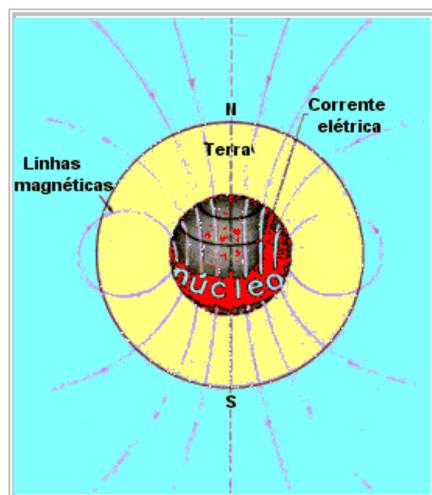
No Brasil, a freqüência elétrica da rede de alimentação é de 60 Hz. Na América do Sul, além do Brasil, também utilizam 60 Hz o Equador e a Colômbia. Em outros países, tais como Argentina, Bolívia, Chile, Paraguai e Peru é utilizada a freqüência elétrica de 50 Hz.

7.4 – MAGNETISMO: ONDAS MAGNÉTICAS

Em 1600, o médico e físico inglês William Gilbert (1544-1603), publicou seu tratado científico cujo título era “De Magnete”, que abordava o magnetismo da Terra; foi uma das primeiras publicações sobre ciência experimental.

William Gilbert (1544-1603) deduziu que a Terra se comportava como um grande ímã, porque o seu interior consistia de material permanentemente magnético. Atualmente, os cientistas acreditam que o centro da Terra é demasiado quente para ser um ímã permanente.

O físico, matemático e astrônomo alemão Karl Gauss (1777-1855), mostrou que o campo magnético da Terra deve originar-se de dentro da Terra. O físico alemão Walter Elsasser (1904-1991), professor de física teórica na Universidade da Califórnia, sugeriu em 1939, que o campo magnético da Terra resulta das correntes geradas pelo fluxo da matéria em estado do seu núcleo.



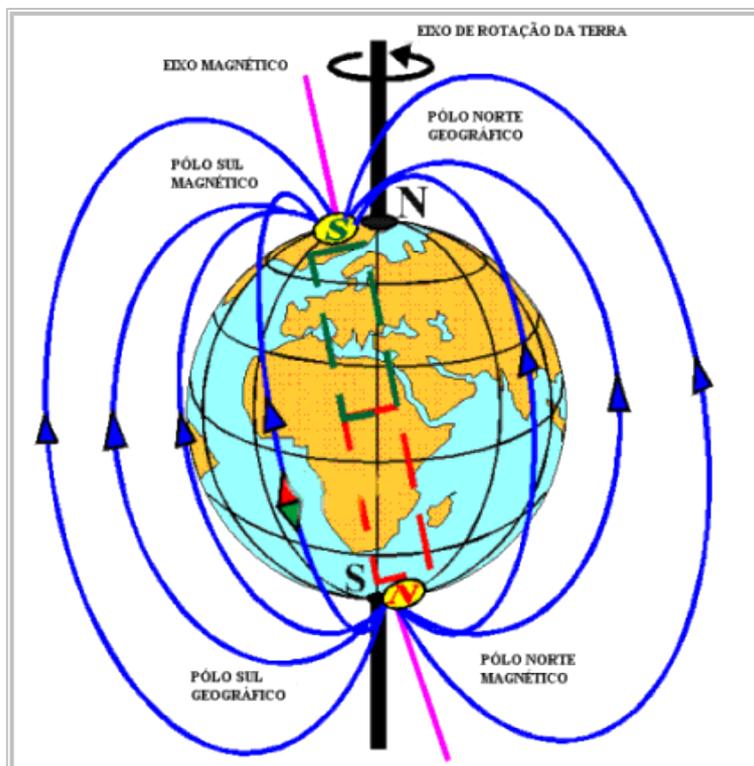
O CAMPO MAGNÉTICO DA TERRA TALVEZ SEJA DEVIDO ÀS CORRENTES ELÉTRICAS QUE CIRCULAM NO SEU NÚCLEO EM ESTADO LÍQUIDO.

O magnetismo terrestre é atribuído a enormes correntes elétricas que circulam no núcleo do planeta, que é constituído de ferro e níquel no estado líquido, devido às altas temperaturas.

Os pólos magnéticos da Terra não coincidem com os pólos geográficos, pois o Pólo Norte (**N**) magnético está situado a cerca de 1.900 km ao sul do Pólo Norte (**N**) geográfico. Desta forma, o Pólo Norte (**N**) na agulha da bússola não aponta na direção **N**, na maioria dos locais da Terra. O ângulo de desvio da bússola do **N** verdadeiro é chamado de ângulo de declinação.

Por convenção, chamamos de Pólo Norte (**N**) da agulha magnética àquele que aponta para a região próxima do Pólo Norte (**N**) geográfico, e de Pólo Sul (**S**) magnético àquele que aponta para a região próxima do Pólo Sul (**S**) geográfico.

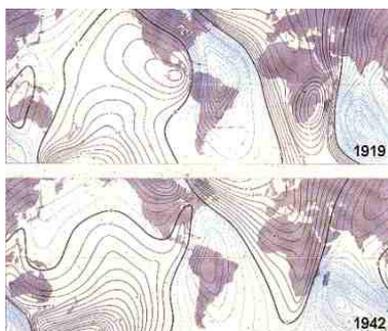
Entretanto, como acontece com a eletricidade, que pólos de mesmo nome se repelem e de nomes contrários se atraem, podemos concluir que: **(1)** se a agulha magnética aponta para uma região próxima do Pólo Norte (**N**) geográfico, é porque existe um Pólo Sul (**S**) magnético nas proximidades do Pólo Norte (**N**) geográfico, e que, **(2)** se a mesma agulha magnética aponta para uma região próxima do Pólo Sul (**S**) geográfico, é porque existe um Pólo Norte (**N**) magnético nas proximidades do Pólo Sul (**S**) geográfico.



O MAGNETISMO DA TERRA.

Em vários locais da Terra, o Pólo Norte (**N**) geográfico e o Pólo Sul (**S**) magnético têm seus sentidos coincidentes. Na maioria dos lugares, entretanto, forma-se um ângulo entre a direção do **N** geográfico, ou **N** verdadeiro, e a direção indicada pela bússola. Este ângulo entre as direções do Pólo Norte (**N**) geográfico e do Pólo Sul (**S**) magnético é chamado de declinação magnética.

Essa declinação é representada em mapas, conforme apresentado na figura abaixo.



MAPAS DE DECLINAÇÃO MAGNÉTICA MÉDIA.

É importante notar que esse tipo de mapa é datado, pois a localização dos pólos magnéticos se altera com o tempo. As linhas mostram a declinação magnética média. Numa escala maior, representando regiões menores, elas podem ter traçados muito irregulares, por causa das condições geológicas da região. Nas proximidades de jazidas de ferro, por exemplo, o sentido do campo magnético terrestre é fortemente alterado.

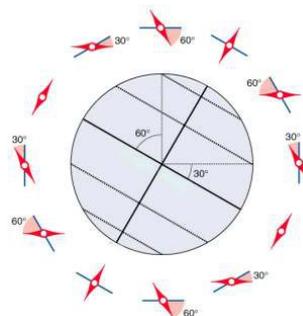
Além da declinação magnética, a configuração do campo magnético causa outro efeito, a inclinação magnética. A agulha magnética da bússola não se mantém na posição horizontal, mas sim, inclinada. Dependendo do grau de inclinação, ela só pode ser observada com a utilização de bússolas especiais. Conforme apresentado na figura abaixo:



BÚSSOLA ESPECIAL COM MARCAÇÃO DE INCLINAÇÃO MAGNÉTICA.

Uma agulha magnética de bússola, montada num eixo horizontal, e dotada de um meio de medir, como por exemplo, um transferidor, o ângulo que faz a agulha magnética com o eixo horizontal, é chamada de bússola de inclinação. Em certos lugares da superfície da Terra, aproximadamente a meio caminho entre os pólos magnéticos, por exemplo, na linha do equador da Terra, o ângulo de inclinação é zero e, desta forma, a agulha magnética fica na posição horizontal. A inclinação entre a posição de equilíbrio de uma agulha magnética de bússola e a horizontal, é conhecida como inclinação magnética.

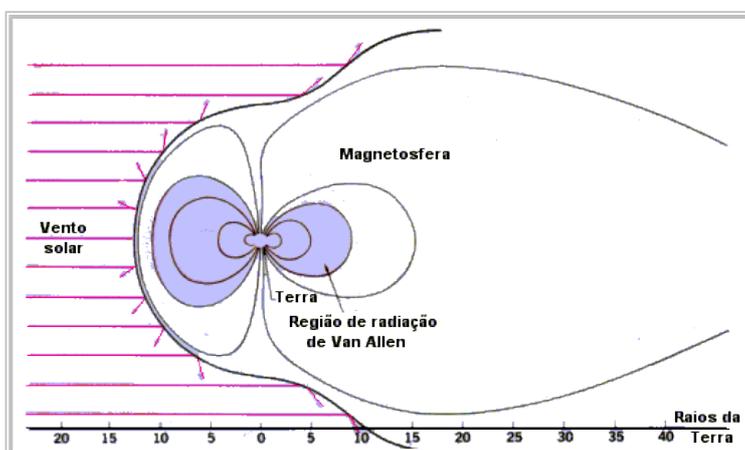
A inclinação magnética é mais acentuada nas regiões de maior latitude, próximas aos pólos magnéticos. Enquanto que em São Paulo ela é de cerca de 20° , com o Pólo Norte (**N**) da bússola apontando para cima, perto dos pólos magnéticos, essa inclinação é de cerca de 90° , pois nessas regiões a direção do campo magnético é praticamente vertical. Observemos a figura abaixo:



VARIAÇÃO NA INCLINAÇÃO MAGNÉTICA DA TERRA.

MAGNETOSFERA DA TERRA ⇒ Os veículos espaciais, que viajam até os limites exteriores da atmosfera terrestre, e para além deles, têm estimulado um interesse cada vez maior numa região da atmosfera superior chamada de magnetosfera. É uma região situada além de cerca de 200 quilômetros de altitude, e, na qual, o movimento das partículas carregadas magneticamente é governado, fundamentalmente, pelo campo magnético da Terra. Em altitudes inferiores, onde a densidade da atmosfera é muito maior, o movimento dessas partículas é controlado, sobretudo, por colisões. Lembrando que a atmosfera da Terra tem seu limite de altitude em cerca de 120 quilômetros, ou seja, 120.000 metros.

A magnetosfera terrestre, no lado voltado para o Sol, estende-se além da superfície da Terra cerca de 57.000 quilômetros, ou seja, aproximadamente cinco vezes o diâmetro da Terra, que é de cerca de 12.800 quilômetros. Do lado oposto ao Sol, a magnetosfera terrestre se estende por centenas de vezes o diâmetro da Terra. Conforme podemos observar na figura abaixo:



A MAGNETOSFERA DA TERRA.

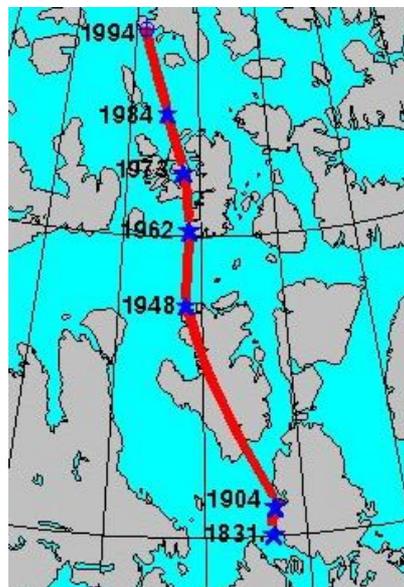
A forma alongada da magnetosfera terrestre é resultante da influência do vento solar, ou plasma solar, constituído, principalmente, por prótons e elétrons emitidos pelo Sol, e que comprimem grandemente a magnetosfera da Terra, do lado mais próximo do Sol.

Em 1958, o físico norte-americano James Van Allen (1914-2006), descobriu imensas regiões de radiação dentro da magnetosfera terrestre. Essas regiões de radiação, agora conhecidas como cinturões de radiação de Van Allen ou, simplesmente, Cinturão de Van Allen, contêm prótons e elétrons energéticos, presos pelo campo magnético da Terra. Quando esses intensos cinturões de radiação foram descobertos, os cientistas ficaram apreensivos quanto às sérias ameaças que poderiam oferecer às viagens espaciais. Atualmente, sabe-se que os astronautas que se dirigem para o espaço exterior, podem passar rapidamente por essas regiões de radiação, com proteção adequada contra a radiação de Van Allen.

As diversas propriedades magnéticas, das rochas que se encontram abaixo da superfície terrestre, podem causar alterações no campo magnético terrestre, de um lugar para outro. Além disso, podemos notar num mesmo lugar, de uma época para outra, variações magnéticas, bastante evidentes.

Medições feitas num determinado lugar, durante um longo período de tempo, mostram que o campo magnético sofreu tanto mudanças rápidas, algumas vezes cíclicas, quanto mudanças lentas. Entretanto, a velocidade de variação é imprevisível, tendo em vista que nem a intensidade, nem a direção das variações são constantes. Os pólos magnéticos vêm mudando sua localização no decorrer do tempo.

Na figura abaixo podemos observar a posição do Pólo Sul (**S**) magnético (Pólo Norte (**N**) geográfico) ao longo de vários anos.



VARIAÇÃO DO PÓLO SUL MAGNÉTICO (PÓLO NORTE GEOGRÁFICO) AO LONGO DE VÁRIOS ANOS.

Antes de iniciarmos o estudo dos efeitos magnéticos das correntes elétricas, que veremos mais adiante neste trabalho, quando falarmos sobre eletromagnetismo e ondas eletromagnéticas, examinaremos as propriedades magnéticas das substâncias e, aprenderemos alguma coisa sobre a natureza do magnetismo e dos campos magnéticos naturais.

SUBSTÂNCIAS MAGNÉTICAS ⇒ Há muitos séculos, depósitos de minério de ferro magnético foram descobertos pelos gregos, numa região da Turquia. A região era então conhecida como Magnésia, desta forma, o minério foi chamado de magnetita. Outros depósitos de magnetita foram encontrados em outras regiões da Terra. Os pedaços de magnetita são ímãs naturais. Um desses pedaços de magnetita, pendurado em um fio, se alinha com o campo magnético da Terra. Por volta do século XII, os homens começaram a utilizar esses ímãs naturais, a que davam o nome de pedra-ímã, como bússolas magnéticas.

Alguns materiais, notadamente, o ferro e o aço, são fortemente atraídos pelos ímãs naturais; sendo atraídos em grau menor o cobalto (Co) e o níquel (Ni), desta forma, diz-se que essas substâncias têm propriedades ferromagnéticas.

Ligas especiais, como o permalloy e o alnico, têm extraordinárias propriedades ferromagnéticas. Os físicos têm demonstrado muito interesse pela estrutura dos materiais dotados de propriedades ferromagnéticas, ou seja, com ferromagnetismo.

Atualmente, são produzidos ímãs artificiais muito fortes e versáteis, com materiais ferromagnéticos. Os ímãs de alnico (Al, Ni e Co) atuais, são capazes de suportar um peso de mais de 1.000 vezes o peso que os ímãs naturais são capazes de suportar. As substâncias ferromagnéticas são comumente chamadas de substâncias magnéticas.

SUBSTÂNCIAS NÃO-MAGNÉTICAS ⇒ Os materiais são comumente classificados como sendo magnéticos ou não-magnéticos. Diz-se que os que não apresentam o forte ferromagnetismo apresentado pelo ferro (Fe), da família dos metais, são classificados como sendo não-magnéticos. Entretanto, se esses materiais forem colocados no campo de um ímã muito forte, observa-se que alguns deles são ligeiramente repelidos pelo mesmo, ao passo que outros são ligeiramente atraídos.

O zinco (Zn), o bismuto (Bi), o cloreto de sódio (NaCl), o ouro (Au) e o mercúrio (Hg) são exemplos de substâncias ligeiramente repelidas por um ímã forte, sendo por esta razão chamadas de diamagnéticas. Esse tipo de comportamento magnético é chamado de diamagnetismo. A propriedade do diamagnetismo é um conceito importante na moderna teoria do magnetismo, como veremos mais adiante neste trabalho.

A madeira, o alumínio (Al), a platina (Pt), o oxigênio (O) e o sulfato de cobre são alguns exemplos de substâncias ligeiramente atraídas por um ímã forte, sendo por esta razão chamadas de paramagnéticas. Esse tipo de comportamento magnético é chamado de paramagnetismo.

FORÇA ENTRE PÓLOS MAGNÉTICOS ⇒ O fato de que as limalhas de ferro se prendem, principalmente, nas extremidades de um ímã em forma de barra, indica que a força magnética atua sobre as limalhas, basicamente, nessas regiões ou pólos; isso não significa que a região central do ímã seja desmagnetizada. O pólo que aponta para o Norte (**N**), quando o ímã está livre para girar sobre um eixo vertical, é comumente chamado de Pólo Norte (**N**). O pólo oposto, que aponta para o Sul (**S**), é chamado de Pólo Sul (**S**).

Suponhamos que um ímã em forma de barra seja pendurado, conforme apresentado na figura abaixo:

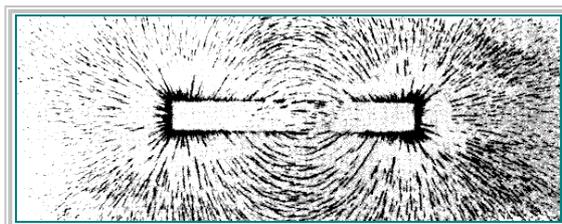


PÓLOS IGUAIS SE REPELEM, PÓLOS DIFERENTES SE ATRAEM.

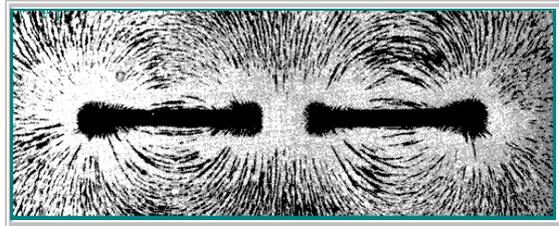
Quando o Pólo Norte (**N**) de um segundo ímã é aproximado do Pólo Norte (**N**) do ímã pendurado, os dois pólos se repelem mutuamente; o mesmo ocorre com os dois Pólos Sul (**S**). Se o Pólo Sul (**S**) de um ímã for aproximado do Pólo Norte (**N**) de outro ímã, eles se atraem mutuamente. Essas experiências demonstram que pólos iguais se repelem e pólos diferentes se atraem, como ocorre em eletricidade, onde cargas de sinais iguais se repelem e de sinais contrários se atraem.

Os ímãs, normalmente, têm dois pólos bem definidos, um Pólo Norte (**N**) e um Pólo Sul (**S**). Ímãs compridos, em forma de barra, às vezes adquirem mais de dois pólos. Um anel de ferro pode não apresentar nenhum pólo, quando magnetizado. Um único pólo isolado não é uma possibilidade física, porquanto um ímã deve ter um Pólo Norte (**N**) para cada Pólo Sul (**S**). Todavia, freqüentemente, se admite um Pólo Norte (**N**) isolado, de intensidade magnética unitária, em considerações teóricas, das quais não trataremos aqui neste trabalho, por estar muito fora da linha de estudo do mesmo.

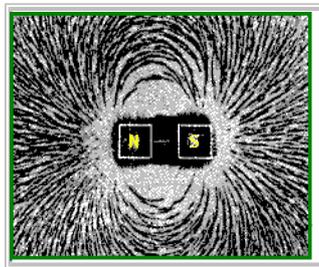
CAMPO DE FORÇA MAGNÉTICO ⇒ O campo de força magnético de um único ímã, ou de um grupo de ímãs, torna-se visível pela configuração apresentada por limalhas de ferro, quando espalhadas sobre uma placa de vidro, colocada sobre um ímã em forma de barra. Tal configuração é chamada de espectro magnético. Nas figuras a seguir são apresentados alguns espectros magnéticos:



ESPECTRO MAGNÉTICO DE UM ÍMÃ EM FORMA DE BARRA; VISUALIZAÇÃO COM LIMALHAS DE FERRO.



ESPECTRO MAGNÉTICO DE DOIS ÍMÃS EM FORMA DE BARRA, COM PÓLOS OPOSTOS SE DEFRONTANDO; VISUALIZAÇÃO COM LIMALHAS DE FERRO.



ESPECTRO MAGNÉTICO DE UM ÍMÃ EM FORMA DE "U", VISTO DE CIMA; VISUALIZAÇÃO COM LIMALHAS DE FERRO.

PERMEABILIDADE MAGNÉTICA \Rightarrow Já descrevemos o efeito de um campo de força magnético sobre limalhas de ferro, através de uma placa vidro. Os materiais não-magnéticos, em geral, são transparentes ao magnetismo, ou seja, são permeáveis ao fluxo magnético. Podemos dizer que o seu efeito sobre as linhas de fluxo magnético, formadas pelas limalhas de ferro, não é apreciavelmente diverso do efeito sobre as linhas de fluxo magnético, formadas pelas limalhas de ferro no ar. A propriedade que um determinado material possui de ser capaz de mudar a indução magnética de um campo de força magnético, em relação ao seu valor no ar, é chamada de permeabilidade magnética, sendo a permeabilidade magnética do ar igual a 1, ou seja, uma unidade.

As permeabilidades magnéticas das substâncias, chamadas de diamagnéticas, são ligeiramente menores do que uma unidade, ao passo que as permeabilidades magnéticas das substâncias, chamadas de paramagnéticas, são ligeiramente maiores do que uma unidade.

Se uma placa de ferro for colocada sobre um ímã, não existirá campo magnético acima da placa, porque o fluxo magnético penetra no ferro e segue um trajeto inteiramente dentro do próprio ferro.

A indução magnética no ferro é maior do que no ar, desta forma, diz-se que o ferro tem elevada permeabilidade magnética. A permeabilidade magnética de outras substâncias, que igualmente possuem propriedades ferromagnéticas, são também muito altas.

IMANTAÇÃO POR CONTATO \Rightarrow Podemos produzir um ímã de forma artificial, bastando para tanto pegarmos um ímã natural e deixarmos ele em contato, por

algum tempo, com um pedaço de outro tipo de metal, com propriedades ferromagnéticas, de preferência ferro (Fe) ou aço. Esse pedaço de metal, que ficou em contato com o ímã natural, se transforma em um ímã artificial temporário.

Desta forma, podemos dizer que há uma transferência de propriedades magnéticas entre materiais magnéticos e não-magnéticos, apenas pelo contato, ou seja, por indução magnética. A esse processo dá-se o nome de imantação por contato, conforme podemos observar na figura abaixo:



O PREGO E AS TACHAS SE TRANSFORMAM EM ÍMÃS ARTIFICIAIS TEMPORÁRIOS, POR INDUÇÃO MAGNÉTICA.

7.5 – ELETROMAGNETISMO: ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

A radiação eletromagnética é uma combinação de um campo elétrico com um campo magnético, que se propagam através do espaço, transportando energia. A luz visível é uma das partes da radiação eletromagnética. O estudo das radiações eletromagnéticas é chamado de eletrodinâmica, uma disciplina do eletromagnetismo.

O físico e matemático inglês Isaac Newton (1643-1727) foi quem estabeleceu uma concepção causal do Universo. Segundo esta, todo efeito observado na matéria, obedece aos efeitos de forças exercidas por objetos situados à distância. A partir desta visão, se iniciou a busca pela causa final de todas as forças, através de uma analogia com a massa gravitacional. A teoria eletromagnética propôs que, as atrações e repulsões magnéticas e elétricas resultavam de interações mútuas entre os corpos, através do espaço.

Neste contexto, se deu a busca da causa final dessas forças, procurando-se similaridades entre a massa gravitacional de Isaac Newton (1643-1727) e os mecanismos de interação eletromagnética entre os corpos.

Os estudos dos efeitos da força eletromagnética, no final do século XVIII, se ampliaram, e houve a tentativa de explicar os mecanismos de interação entre os corpos. O físico francês Charles Coulomb (1736-1806) e o físico e químico inglês Henry Cavendish (1731-1810) observaram as substâncias eletricamente carregadas e os ímãs, estabelecendo, desta forma, leis empíricas, ou seja, leis

pela simples observação dos fatos, que regiam seu comportamento e que indicavam uma possível relação entre aquelas forças.

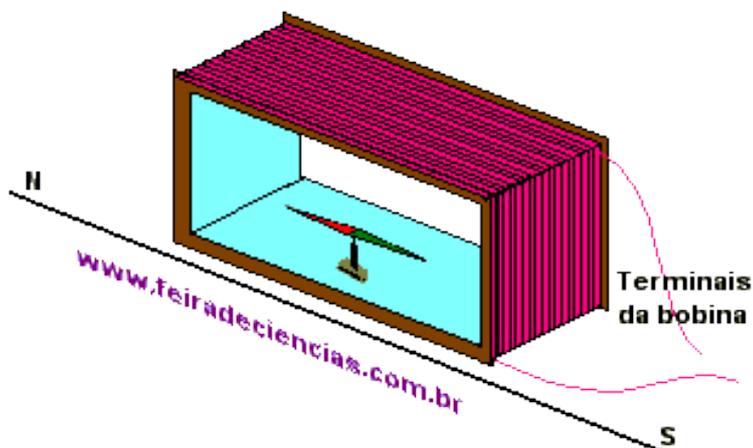
A relação entre eletricidade e magnetismo finalmente foi descoberta em 1820, quando o físico e químico dinamarquês Hans Oersted (1777-1851), trabalhando em seu laboratório, montou um circuito elétrico, perto do qual havia uma agulha magnética (magnetizada ou imantada), ou seja, uma bússola. Ele verificou que ao se aproximar a mesma de um fio condutor, que interligava os dois pólos de uma pilha elétrica, ela ao invés de orientar-se na direção Norte-Sul, como ocorre normalmente, orientava-se perpendicularmente ao fio condutor. Verificou em seguida, que não havendo corrente elétrica no circuito, ou seja, quando o mesmo estava aberto, a agulha orientava-se, normalmente, na direção Norte-Sul.



DESCOBERTA FEITA POR HANS OERSTED, DA INTERAÇÃO ENTRE A ELETRICIDADE E O MAGNETISMO.
UMA CORRENTE ELÉTRICA PRODUZ UMA FORÇA SOBRE UMA AGULHA MAGNÉTICA,
QUE ESTAVA, INICIALMENTE, ALINHADA COM UM FIO CONDUTOR.

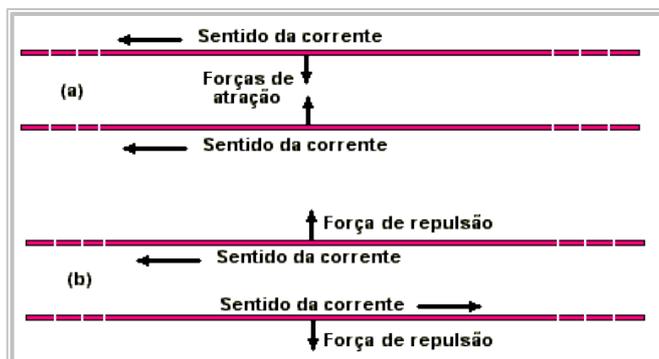
Na mesma época, o físico, matemático e astrônomo francês Dominique Arago (1786-1853), descobriu que o ferro (Fe) adquiria propriedades magnéticas nas proximidades de uma corrente elétrica.

Também na mesma época, o filósofo, matemático e físico francês André-Marie Ampère (1775-1836), pesquisando sobre correntes elétricas, ao envolver uma barra de ferro com um fio condutor, enrolado em forma helicoidal, criou o primeiro eletroímã, desta forma, ele iniciou os estudos que levaram aos fundamentos da eletrodinâmica.



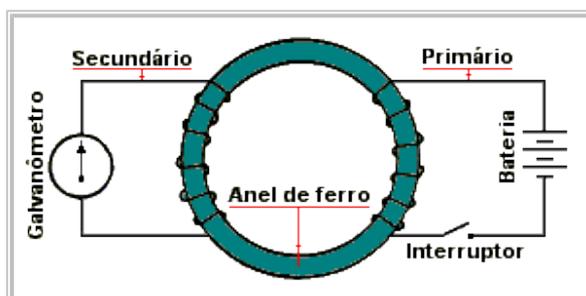
EXPERIMENTO REALIZADO POR ANDRÉ-MARIE AMPÈRE.

André-Marie Ampère (1775-1836) formulou uma teoria que afirmava a existência de partículas elementares, que se deslocavam no interior das substâncias, e que este deslocamento poderia ser a causa dos efeitos magnéticos. Porém, apesar da sua busca incessante, jamais conseguiu confirmar a existência de tais partículas elementares.



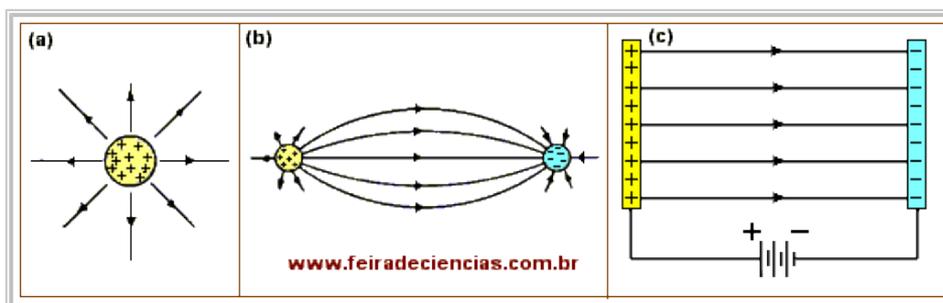
DESCOBERTA FEITA POR ANDRÉ-MARIE AMPÈRE, DE QUE UMA CORRENTE ELÉTRICA É CAPAZ DE PRODUZIR UMA FORÇA (ATRAÇÃO OU REPULSÃO) SOBRE OUTRA CORRENTE ELÉTRICA, EM SUAS PROXIMIDADES.

Durante o século XIX, o filósofo e químico inglês Michael Faraday (1791-1867) e o físico escocês James Maxwell (1831-1879), continuaram os trabalhos de seus antecessores, nas descobertas das leis que regem a força eletromagnética, o eletromagnetismo e a eletrodinâmica.



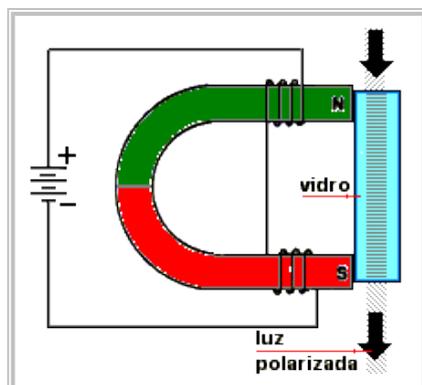
ANEL DE MICHAEL FARADAY, PRIMEIRO TRANSFORMADOR ELÉTRICO.

Em seu trabalho, Michael Faraday (1791-1867) formulou a teoria de que o espaço existente entre os objetos, eletricamente carregados, era constituído por linhas de força elétrica, e que estas eram correntes de energia invisíveis e mensuráveis, capazes de comandar o movimento dos corpos.

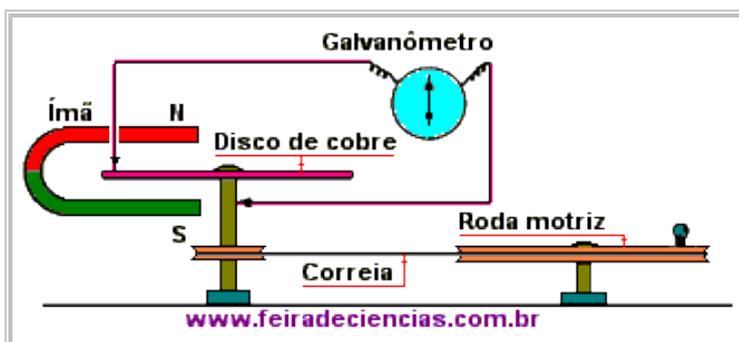


LINHAS DE FORÇA ELÉTRICA DE MICHAEL FARADAY: (A) EM TORNO DE UMA ESFERA, CARREGADA ELETRICAMENTE; (B) ENTRE ESFERAS, CARREGADAS COM CARGAS ELÉTRICAS DE SINAIS CONTRÁRIOS; E (C) ENTRE PLACAS, CARREGADAS COM CARGAS ELÉTRICAS DE SINAIS CONTRÁRIOS.

Segundo Michael Faraday (1791-1867), as linhas de força elétrica eram originadas pela presença mútua dos objetos entre si. Ele introduziu, neste momento, a idéia de campo de força, na qual uma carga elétrica móvel é capaz de produzir perturbações eletromagnéticas, em torno de si, através de linhas de força elétrica, que formam um campo de força, capaz de interagir com outra carga elétrica que esteja próxima.



APARELHO DE MICHAEL FARADAY PARA DEMONSTRAR QUE A LUZ VISÍVEL ESTÁ RELACIONADA COM A ELETRICIDADE E O MAGNETISMO. A LUZ VISÍVEL, POLARIZADA, PENETRANDO NO VIDRO, PASSA POR UMA TRANSFORMAÇÃO EM SEU PLANO DE POLARIZAÇÃO, ENQUANTO ESTIVER PRESENTE UM CAMPO MAGNÉTICO.



DÍNAMO OU GERADOR ELÉTRICO CONSTRUÍDO POR MICHAEL FARADAY.

James Maxwell (1831-1879) desenvolveu, matematicamente, o modelo dos campos de força elétrica, que vieram a alterar a idéia de que forças elétricas agiam sob uma espécie de controle remoto.

A base teórica do eletromagnetismo é o conjunto das quatro equações desenvolvidas por James Maxwell (1831-1879), que descrevem como os campos elétrico e magnético se relacionam, e como variam em função do tempo e da posição no espaço. Essas equações constituem mesmo o nascimento do eletromagnetismo, já que antes dos estudos de James Maxwell (1831-1879), os assuntos eletricidade e magnetismo eram tidos como aspectos separados da Física.

No estudo da Física, o eletromagnetismo é o nome da teoria unificada e desenvolvida por James Maxwell (1831-1879), para explicar a relação entre a

eletricidade e o magnetismo. Esta teoria baseia-se no conceito de campo eletromagnético.

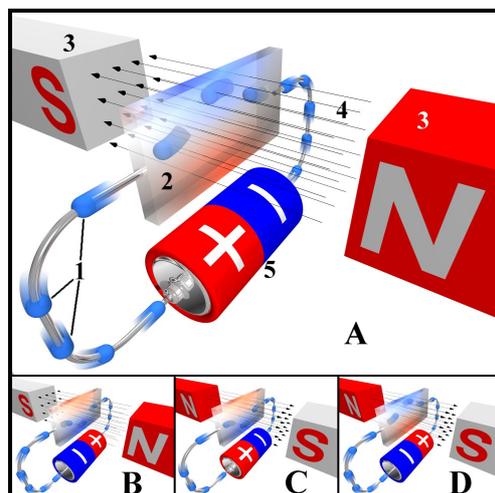


DIAGRAMA MOSTRANDO O FLUXO DE ELÉTRONS ATRAVÉS DE UM CAMPO ELETROMAGNÉTICO (EFEITO HALL) ⇒ Legenda: (1) Elétrons em movimento em um condutor elétrico utilizando como fonte de alimentação uma pilha; (2) Elemento sensor de campo elétrico; (3) Dois ímãs (Pólo Norte (N) de um e Pólo Sul (S) de outro); (4) Campo magnético; e (5) Fonte de alimentação. Descrição: Na figura "A", o elemento sensor de campo magnético recebe uma carga negativa na extremidade superior (simbolizado pela cor azul) e uma carga positiva na extremidade inferior (simbolizado pela cor vermelha). Em "B" e "C", tanto a corrente elétrica quanto o campo magnético são revertidos, causando a polarização reversa. Invertendo ambos, corrente elétrica e campo magnético (figura "D"), faz-se com que o elemento sensor de campo magnético novamente assuma a carga negativa na extremidade superior. Esse é o princípio de funcionamento dos motores por indução eletromagnética.

Quando um campo eletromagnético é estacionário, não há propagação de energia eletromagnética através do espaço, porém, quando um campo eletromagnético é variável, há propagação de energia eletromagnética através do espaço, até mesmo no vácuo, desde a fonte do campo eletromagnético até um receptor eletromagnético, sob a forma de uma onda eletromagnética, portadora de energia ou informação.

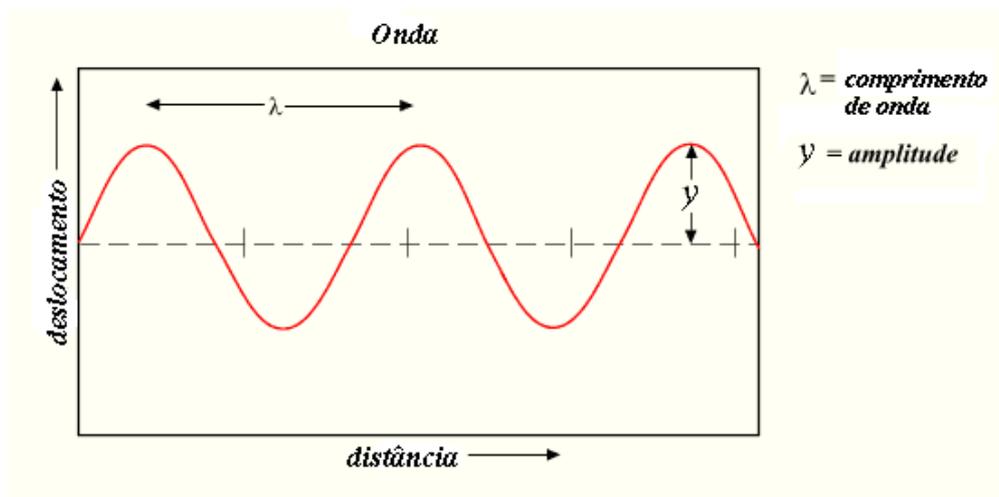
Ondas podem ser classificadas como sendo um movimento harmônico simples. Uma onda em Física é uma perturbação oscilante, de alguma grandeza física no espaço e periódica no tempo.



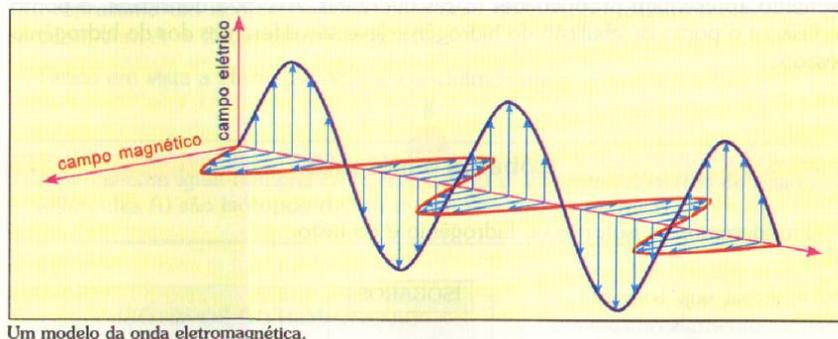
ONDAS DE CHOQUE SE PROPAGANDO NA SUPERFÍCIE DE UM MEIO LÍQUIDO.

A oscilação espacial é caracterizada pelo comprimento de onda, e a periodicidade no tempo é medida pela frequência da onda, que é o inverso do seu período. Estas duas grandezas estão relacionadas com a velocidade de propagação da onda. Já falamos, anteriormente, neste trabalho, sobre onda,

comprimento de onda, amplitude de onda, frequência de onda e velocidade de onda, quando falamos sobre som e ondas sonoras. Somente a título de recordação, observemos a figura abaixo:



Em Física, uma onda é um pulso energético que se propaga através do espaço ou através de um meio líquido, sólido, gasoso, vácuo ou plasma. Segundo alguns estudiosos, e até agora observado, nada impede que uma onda magnética se propague no vácuo ou através da matéria, como é o caso das ondas eletromagnéticas no vácuo, ou dos neutrinos, através da matéria, onde as partículas do meio de propagação oscilam à volta de um ponto médio, mas não se deslocam.



Exceto pela radiação eletromagnética, e, provavelmente, pelas ondas gravitacionais, que podem se propagar através do vácuo, as ondas se propagam em um meio cuja deformação é capaz de produzir forças de restauração, através das quais elas viajam e podem transferir energia de um lugar para outro, sem que qualquer uma das partículas, do meio de propagação, seja deslocada permanentemente, como acontece em um imã; isto é, nenhuma massa transportada, associada, pode anular o efeito magnético. Em lugar disso, qualquer ponto em particular, oscila em volta de um ponto fixo.

Uma onda pode ser longitudinal, quando a oscilação ocorre na direção de propagação da onda, ou transversal, quando a oscilação ocorre na direção perpendicular à direção de propagação da onda.

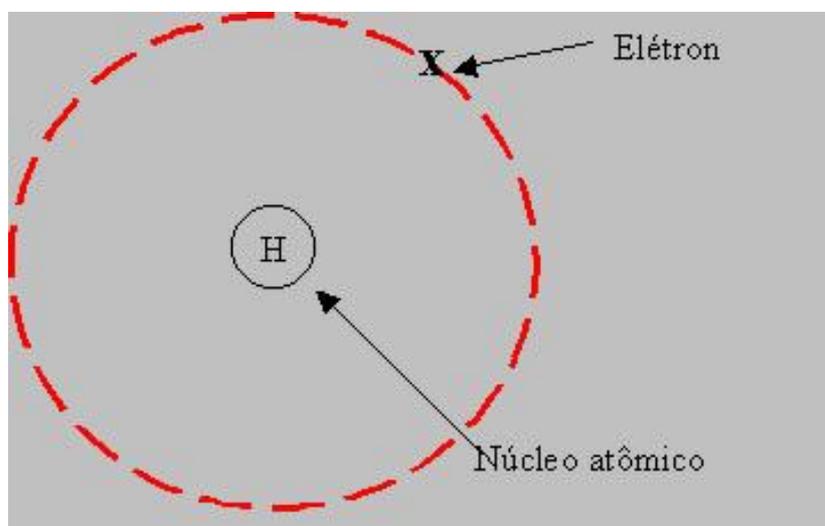
A propagação é um modo de transmissão de energia. Ela pode ser uma propagação sonora, propagação luminosa, esta última compreendida pela propagação térmica, ou seja, de calor, ou pela propagação eletromagnética, propriamente dita, a qual estamos estudando neste momento. A propagação ocorre através de meios líquido, sólido, gasoso, vácuo ou plasma, conforme o caso e a natureza da energia a ser propagada.

A radiação eletromagnética foi demonstrada, experimentalmente, pelo físico alemão Heinrich Hertz (1857-1894), em 1888. Ele observou que quando um fio condutor de cobre (Cu) conduz corrente elétrica alternada (CA), é emitida radiação eletromagnética na mesma frequência que a corrente elétrica. Dependendo das circunstâncias, esta radiação pode comportar-se como uma onda ou como uma partícula.

Quando a radiação eletromagnética percorre um fio condutor elétrico, induz uma corrente elétrica no mesmo. Este efeito é utilizado nas antenas de radiocomunicação.

A força eletromagnética resulta, portanto, da ação das atrações e repulsões elétricas e magnéticas de corpos próximos entre si.

O físico inglês Joseph Thomson (1856-1940), seguindo as idéias e teorias matemáticas de seus antecessores, observando em 1897, os desvios dos feixes de raios catódicos, na presença de um campo elétrico, acabou por deduzir a existência de uma partícula chamada elétron.



ESTRUTURA ATÔMICA DE UM ÁTOMO DE HIDROGÊNIO.

O eletromagnetismo confirmou, então, a origem da força eletromagnética, através do movimento orbital dos elétrons ao redor dos núcleos dos átomos. E passou a estudar, não só a força eletromagnética, mas também, as relações elétricas e magnéticas da matéria, sendo então considerado como uma verdadeira disciplina científica, chamada de eletrodinâmica.

São exemplos de campos eletromagnéticos variáveis: (1) ondas de rádio; (2) microondas; (3) ondas de luz; (4) raios X; e (5) raios gama.

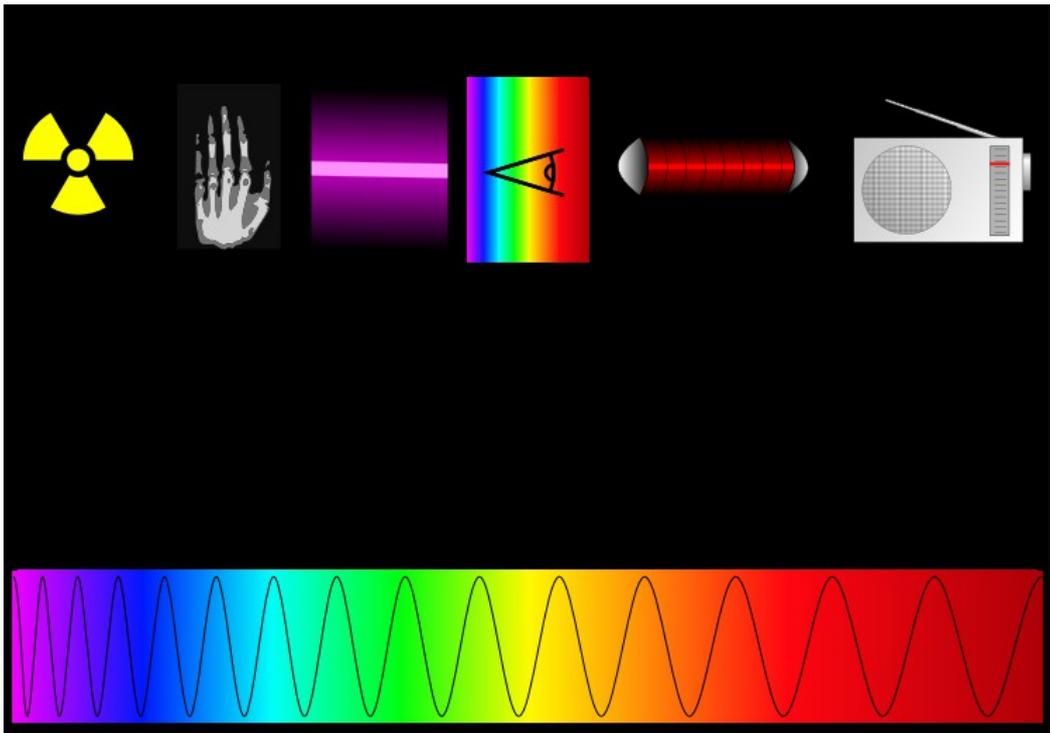


IMAGEM DE UMA PARTE DO ESPECTRO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS.

(1) **ONDAS DE RÁDIO** ⇒ São radiações eletromagnéticas, com comprimento de onda maior e frequência menor do que a radiação infravermelha. A frequência das ondas de rádio é chamada de radiofrequência (RF), é a menor do espectro eletromagnético. Estas ondas são utilizadas como meio de comunicação à distância, entre radioamadores, na radiodifusão de informações ao público em geral, através do rádio e da televisão, na telefonia móvel (celular), entre outros.



APARELHO RADIOCEPTOR DE AM/FM.

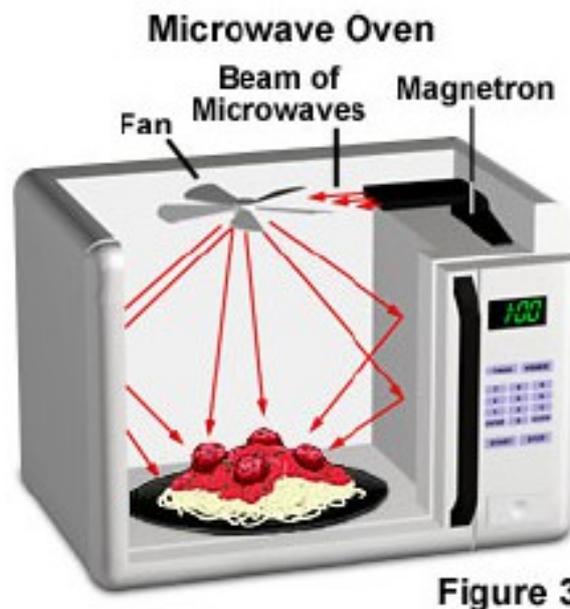
(2) **MICROONDAS** ⇒ São radiações eletromagnéticas, com comprimento de onda menor e frequência maior do que as ondas de radiofrequência (RF), apresentadas acima.

Um forno de microondas utiliza um gerador de microondas, para produzir microondas em uma frequência de aproximadamente 2,4 GHz, com a finalidade de cozinhar os alimentos.



O FORNO DE MICROONDAS É UM APARELHO ELETRODOMÉSTICO QUE PERMITE A PREPARAÇÃO RÁPIDA DE ALIMENTOS, PARA O CONSUMO HUMANO OU DE ANIMAIS.

As microondas cozinham os alimentos, fazendo com que as moléculas de água e de outras substâncias, presentes nos alimentos, vibrem. Esta vibração cria um calor que aquece o alimento. Já que a maior parte dos alimentos orgânicos é composta de água, este processo os cozinha facilmente.



NÃO SE DEVE COLOCAR DENTRO DE UM FORNO DE MICROONDAS UTENSÍLIOS DE COZINHA DE METAL, NEM ORGANISMOS VIVOS.

As microondas também são utilizadas nas transmissões para satélites artificiais de comunicações, que se encontram no espaço, em órbita ao redor da Terra, porque as microondas atravessam, facilmente, a atmosfera terrestre, com menos interferência do que as ondas eletromagnéticas, com comprimento de onda mais longo. Além disso, as microondas permitem uma maior largura na faixa de frequências (banda larga), do que o restante do espectro eletromagnético.



ANTENA PARA SINAIS DE MICROONDAS UTILIZADA EM SISTEMAS DE RADAR NA ÁREA MILITAR E CIENTÍFICA.

Alguns tipos de radar também utilizam a radiação de microondas para detectar a distância, velocidade e outras características de objetos distantes.



EXEMPLOS TÍPICOS DE ANTENAS DIRECIONAIS DO TIPO PARABÓLICA, UTILIZADAS NOS SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO POR MEIO DE MICROONDAS.

Redes locais de comunicação, de processamento de dados, entre outras, com transmissão sem fio, utilizam as microondas na faixa de 2,4 a 5,8 GHz. Alguns serviços de acesso à internet, por meio de rádio, também utilizam faixas de 2,4 a 5,8 GHz.

A televisão a cabo e a internet de banda larga por cabo coaxial, bem como certas redes de telefonia móvel celular, também utilizam as frequências mais baixas das microondas.

As microondas podem ser utilizadas para a transmissão de energia a longas distâncias e, após a Segunda Guerra Mundial, têm sido realizadas diversas pesquisas, para verificar essas possibilidades. A NASA realizou pesquisas, durante as décadas de 1970 e 1980, sobre a utilização de Satélites de Energia Solar, que captariam as emissões solares e as retransmitiriam para a superfície da Terra, por meio de microondas.

O maser, precursor do laser, é um dispositivo semelhante a este último, exceto pelo fato de que trabalha na faixa das microondas, em lugar da luz visível, sendo, desta forma, uma radiação eletromagnética, com comprimento de onda maior e frequência menor do que a mesma.

(3) ONDAS DE LUZ ⇒ O físico e matemático inglês Isaac Newton (1643-1727) foi o primeiro a demonstrar que a luz branca é constituída por todas as cores do espectro visível, e que um prisma não cria cores por alterar a luz branca, como se pensou durante séculos, mas sim, por dispersar a luz, separando-a nas suas cores constituintes, as quais são em número de sete. Observemos a figura abaixo:



ISAAC NEWTON DECOMPONDO A LUZ BRANCA COM UM PRISMA.

O detector de luz humano, ou seja, o sistema de visão humano, constituído pelos olhos, nervos e cérebro, percebe a luz branca como sendo uma vasta mistura de frequências, normalmente, com energias semelhantes, em cada intervalo de frequências. É este o significado da expressão "luz branca"; muitas cores do espectro, sem que nenhuma predomine especialmente. Muitas distribuições diferentes podem parecer brancas, uma vez que o olho humano não é capaz de analisar a luz em frequência, do mesmo modo que o ouvido humano consegue analisar o som em frequência.

A cor não é uma propriedade da luz, mas sim, uma manifestação eletroquímica do sistema sensorial dos humanos e dos animais, tais como: olhos, nervos e cérebro. Em realidade, dever-se-ia dizer, por exemplo, "a luz que é vista como amarela" e não "a luz amarela".

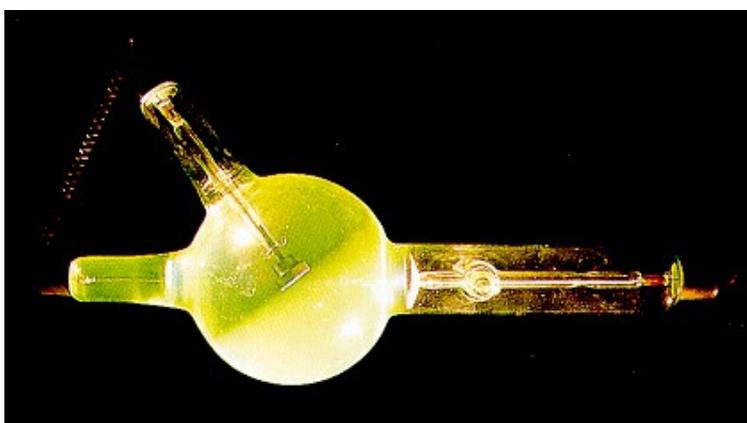
A radiação luminosa visível vai de cerca de 384×10^{12} Hz para o vermelho até cerca de 769×10^{12} Hz para o violeta. Observemos a tabela abaixo:

COR	COMPRIMENTO DE ONDA (nm)	FREQÜÊNCIA (10^{12} Hz)
VERMELHO	780 – 622	384 – 482
LARANJA	622 – 597	482 – 503
AMARELO	597 – 577	503 – 520
VERDE	577 – 492	520 – 610
AZUL	492 – 455	610 – 659
VIOLETA	455 – 390	659 – 769

DIFERENTES COMPRIMENTOS DE ONDA E FREQUÊNCIAS DAS VÁRIAS CORES NO VÁCUO.

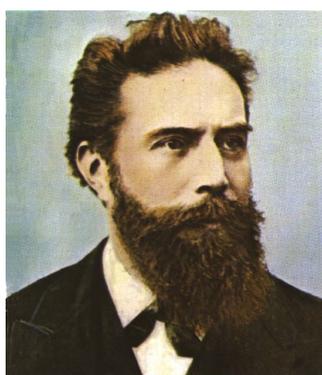
Num material incandescente, tal como num filamento metálico de uma lâmpada, ou na superfície do Sol, temos exemplos de fontes de radiação de luz visível. Nestes locais, os elétrons são acelerados aleatoriamente e sofrem colisões freqüentes. A emissão resultante é conhecida como radiação térmica, ou seja, radiação sob a forma de calor, sendo uma das principais fontes de luz. Quando se enche um tubo de gás e por ele se faz atravessar uma descarga elétrica, os seus átomos ficam excitados, e emitem luz característica dos seus níveis energéticos, constituída por uma série de bandas ou linhas, com freqüências bem definidas.

(4) RAIOS X ⇒ Os raios X, bem como a própria radiografia, foi descoberta em 1895, pelo físico alemão Wilhelm Röntgen (1845-1923), quando realizava experimentos relacionados a emissão de elétrons, com uma Ampola de Crookes.



AMPOLA DE CROOKES, MUITO SEMELHANTE À AMPOLA DE RAIOS X ATUAL.

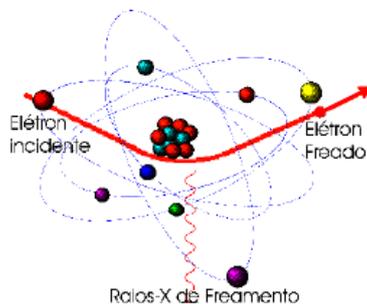
A primeira radiografia foi realizada em seu laboratório, quando expôs aos raios X a mão de sua esposa, apoiada sobre uma chapa fotográfica, por 15 minutos.



WILHELM RÖENTGEN (1845-1923)

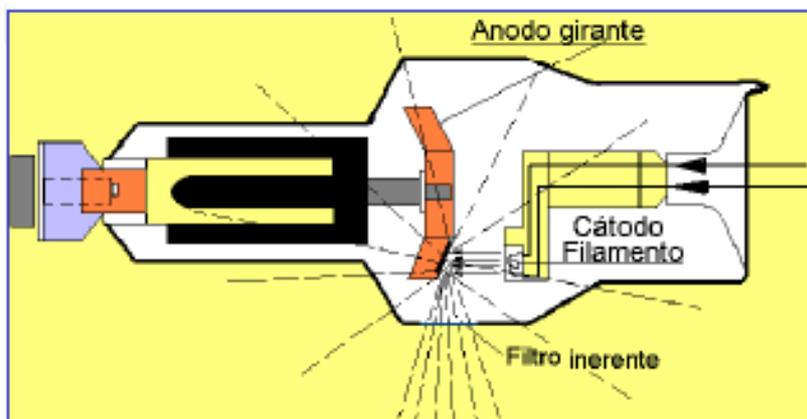
Os raios X são também ondas eletromagnéticas, exatamente como os raios gama (γ), diferindo apenas quanto à origem, pois os raios gama (γ) se originam dentro do núcleo atômico, enquanto que os raios X se originam fora do núcleo atômico, na desexcitação dos elétrons (e^-). Suas características são, portanto, as mesmas da radiação gama (γ).

Os raios X são o resultado da frenagem, ou seja, da colisão dos elétrons, emitidos pelo catodo ou filamento (pólo negativo) com o anodo ou placa (pólo positivo), os quais convertem-se em fótons de radiação X, através do fenômeno chamado de Bremsstrahlung.



EFEITO DE BREMSSTRAHLUNG.

Os raios X são produzidos no interior de uma ampola de raios X, sendo constituídos por ondas eletromagnéticas, de várias frequências e intensidades. A maior parte, cerca de 99% da energia cinética (energia de movimento) dos elétrons é perdida sob a forma de calor, ou seja, energia térmica, sendo apenas 1% dela convertida em raios X. O calor é um subproduto indesejável no processo de produção dos raios X. A ampola de raios X é projetada para produzir o máximo de raios X, com o mínimo de calor possível, ou, pelo menos, dissipar o calor tão rápido quanto possível.



INTERIOR DE UMA AMPOLA DE RAIOS X PRODUZINDO RADIAÇÃO X.

A radiação X produzida por uma ampola de raios X, constitui um espectro eletromagnético contínuo, dentro de uma faixa de comprimento de onda que vai de 100 nm até 1 nm.

A radiação X tem a propriedade de atravessar, com certa facilidade, os materiais de baixa densidade, como por exemplo, a carne humana, e de ser mais absorvida por materiais de densidade mais elevada, como por exemplo, os ossos do corpo humano, que contém cálcio (Ca), material de alta densidade. Em virtude desta propriedade, logo após a sua descoberta, os raios X passaram a ser amplamente utilizados na área Médica, para se obter radiografias do interior do corpo humano.

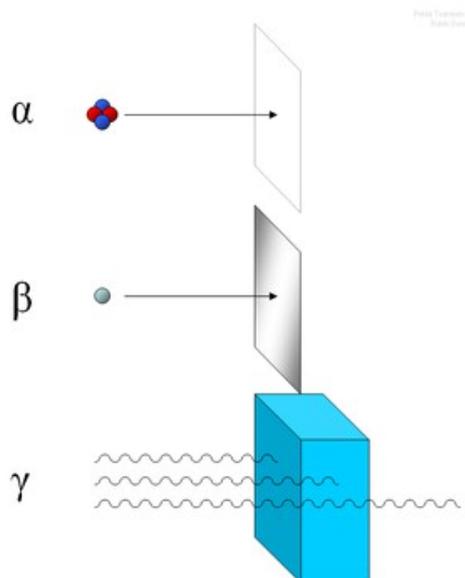


RADIOGRAFIA DE UMA PELVE (BACIA) HUMANA.

(5) RAIOS GAMA \Rightarrow Os raios gama (γ) são ondas eletromagnéticas extremamente penetrantes. Eles interagem com a matéria pelo efeito fotoelétrico, pelo efeito Compton ou pela produção de pares, e, nesses efeitos, são emitidos elétrons ou pares de elétron e pósitron que, por sua vez, ionizam a matéria.

Um fóton de radiação gama (γ) pode perder toda ou quase toda a sua energia, numa única interação, e a distância que ele percorre, antes de interagir, não pode ser prevista. Tudo o que se pode prever é a distância, em que ele tem 50% de chance de interagir. Essa distância se chama camada semi-redutora.

Para bloquear a passagem dos raios gama (γ), pode-se utilizar chumbo, concreto, aço ou terra.



(1) A RADIAÇÃO ALFA (α) CONSISTE NA PROJEÇÃO DE NÚCLEOS DE HÉLIO (He), PODENDO SER BLOQUEADA POR UMA FOLHA DE PAPEL; (2) A RADIAÇÃO BETA (β) CONSISTE NA PROJEÇÃO DE ELÉTRONS, PODENDO SER BLOQUEADA POR UMA FOLHA DE ALUMÍNIO; E (3) A RADIAÇÃO GAMA (γ) CONSISTE NA PROJEÇÃO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS, PODENDO SER PARCIALMENTE BLOQUEADA POR UM MATERIAL DENSO.

Normalmente, há uma grande interação entre as radiações alfa (α), beta (β) e gama (γ), desta forma, falaremos sobre esses três tipos de radiação, detalhadamente, mais adiante neste trabalho, que, juntamente com os raios X, dos quais também voltaremos a falar, são muito importantes na área médica, em radiodiagnóstico e radioterapia.

7.6 – ENERGIAS: ATÔMICA E NUCLEAR

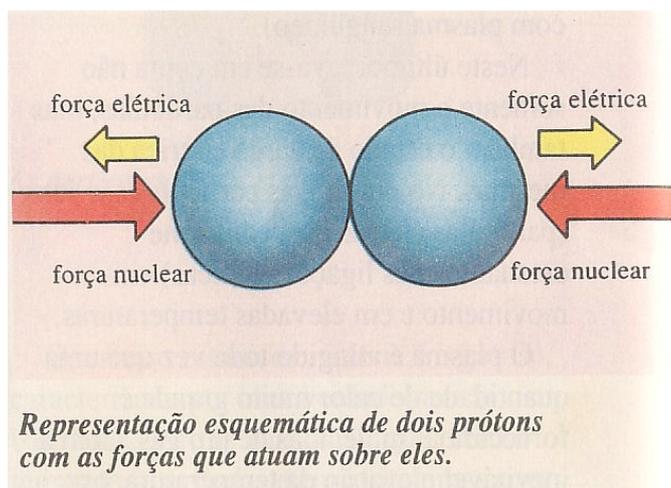
Quando se pensa em Física Nuclear, temos a impressão de que seja um assunto complicado. Entretanto, os conhecimentos básicos, relativos ao núcleo do átomo, são simples de se compreender. Complicado é manter um laboratório com equipamentos e instrumentos para pesquisas nucleares.

A primeira questão que se propõe, para se ter uma idéia do que ocorre no núcleo de um átomo, é a seguinte: como é possível que os prótons fiquem agregados ao núcleo, se eles possuem cargas elétricas positivas e, já sabemos, pelo que estudamos até aqui, que cargas elétricas com o mesmo sinal se repelem?

Essa questão perseguiu os cientistas nas primeiras décadas do século XX, porém, hoje se sabe que a união das partículas no núcleo é garantida por interações muito fortes, conhecidas como forças nucleares.

Para que possamos compreender a função que desempenham as forças nucleares, é necessário que saibamos que no Universo há três tipos básicos de força de interação: (1) força gravitacional (considerada fraca); (2) força eletromagnética (considerada média); e (3) força nuclear (considerada forte).

Desta forma, entre os prótons há dois tipos de força de interação atuando, a força eletromagnética ou elétrica, que atua na repulsão das partículas elementares do átomo, e a força nuclear que atua na atração das mesmas. Como a força nuclear é muito mais intensa do que a força eletromagnética ou elétrica, os prótons ficam unidos no núcleo do átomo.



É importante dizermos que a força nuclear é de curto alcance e que, também, atua sobre os nêutrons. Do ponto de vista da Física Nuclear, tanto os prótons quanto os nêutrons, são chamados de núcleons. Desta forma, generalizamos, dizendo que a força nuclear é a que mantém os núcleos unidos.

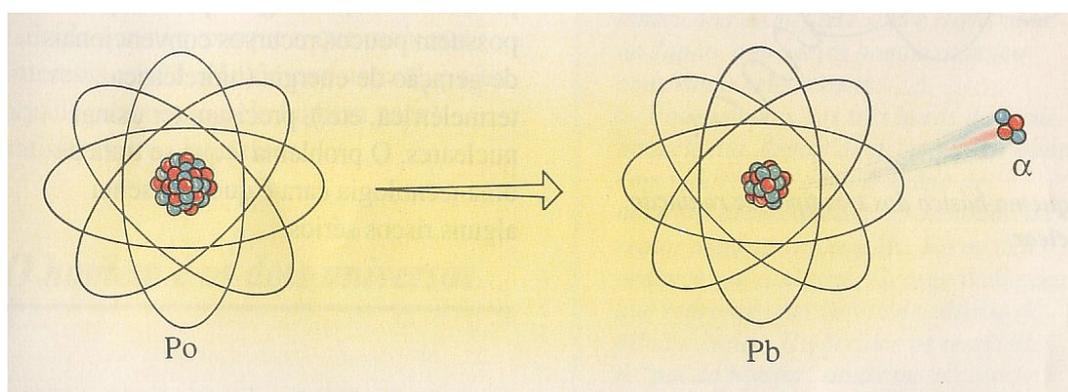
Pouco se sabe, ainda, sobre a força nuclear, apesar de fortunas serem gastas, anualmente, em muitos países, para desvendá-la por completo. Em 1935, o físico japonês Hideki Yukawa (1907-1981) propôs uma teoria que contribuiu, bastante, para que avançassem os estudos da força nuclear. Ele previu a existência de outras partículas menores, no núcleo de um átomo, chamadas de mésons, que contribuem para a manutenção da estabilidade nuclear.

Muitas coisas acontecem no núcleo de um átomo. As primeiras evidências sobre as atividades nucleares começaram a ser observadas, no final do século XIX. Em 1896, o físico francês Henri Becquerel (1852-1908) verificou que um sal de urânio (U) deixava impressões em chapas fotográficas. Inicialmente, não houve explicações para tal fenômeno.

Mais tarde, o casal, a física polonesa Marie Curie (1867-1934) e o físico francês Pierre Curie (1859-1906) descobriu os elementos naturais polônio (Po) e rádio (Ra), e percebeu que ambos deixavam impressões mais acentuadas nas chapas fotográficas. Esses fatos foram as primeiras observações do fenômeno que hoje conhecemos como radiatividade.

Com os experimentos do físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937), e outros avanços científicos, constatou-se que a radiatividade é gerada pelo núcleo atômico. Alguns núcleos são instáveis e liberam partículas e ondas eletromagnéticas. Dizer que o núcleo de um átomo é instável, equivale a afirmar que ele não é capaz de conter por muito tempo, todas as partículas que abriga, e, que para ficar numa situação mais cômoda, acaba se livrando de algumas delas.

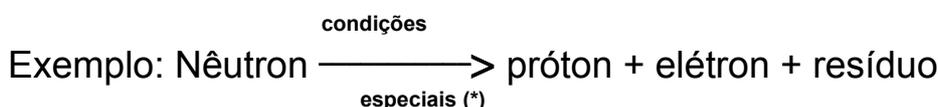
A partícula alfa (α), que Ernest Rutherford utilizou em sua célebre experiência, nada mais é do que um caroço constituído por dois prótons e dois nêutrons, todos bem ligados, expelido de um núcleo, neste caso, de um átomo de polônio (Po). Quando o polônio (Po) expele, ou melhor, emite uma partícula alfa (α), fica, portanto, com dois prótons e dois nêutrons a menos. Mais do que isto, ele deixa de ser um átomo de polônio (Po) e passa a ser um átomo de chumbo (Pb), porque com dois prótons a menos seu número atômico muda. Conforme podemos observar na figura abaixo:



A partícula alfa (α) tem carga elétrica positiva, desta forma, imediatamente após o processo de transformação, ela arranja algum jeito de capturar dois elétrons do meio, para constituir um átomo de hélio (He), porque a partícula alfa (α) é igual a um núcleo de hélio (He). De acordo com o que foi dito, é correto afirmarmos que a partícula alfa (α) é emitida por radiatividade, sendo, desta forma, um tipo de radiação nuclear.

Outra partícula emitida por radiatividade é a partícula beta (β). Esta partícula tem carga elétrica negativa, e, na verdade, é um elétron expelido por um núcleo.

O que acontece é que o elétron, expelido pelo núcleo, resultou da decomposição de um nêutron. Sabe-se, hoje, que em condições especiais, o nêutron se fragmenta, comportando-se conforme o esquema do processo apresentado no exemplo abaixo:

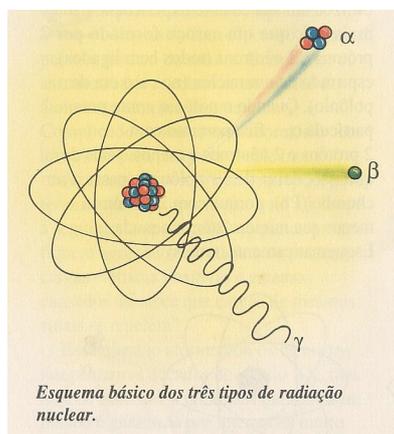


(*) muito calor

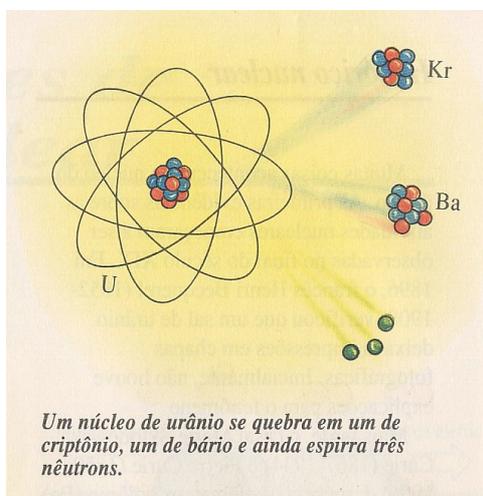
O processo apresentado acima indica que o nêutron, ao se romper, tem um pedaço de si transformado em elétron, e o pedaço restante, continua no núcleo como próton. É claro que essa é uma explicação simplificada, mas que pode nos ajudar a compreender melhor o que ocorre no processo.

O terceiro tipo de radiatividade ou radiação nuclear é chamado de radiação gama ou raios gama (γ). Não é constituído por partícula material, mas apenas por uma quantidade de energia, que se propaga através de um meio, sob a forma de onda eletromagnética.

Agora já conhecemos os três tipos de radiação nuclear, conhecidos pela Ciência, até o presente momento, que são: (1) partículas alfa (α); (2) partículas beta (β); e (3) raios gama (γ). Conforme apresentado na figura abaixo:

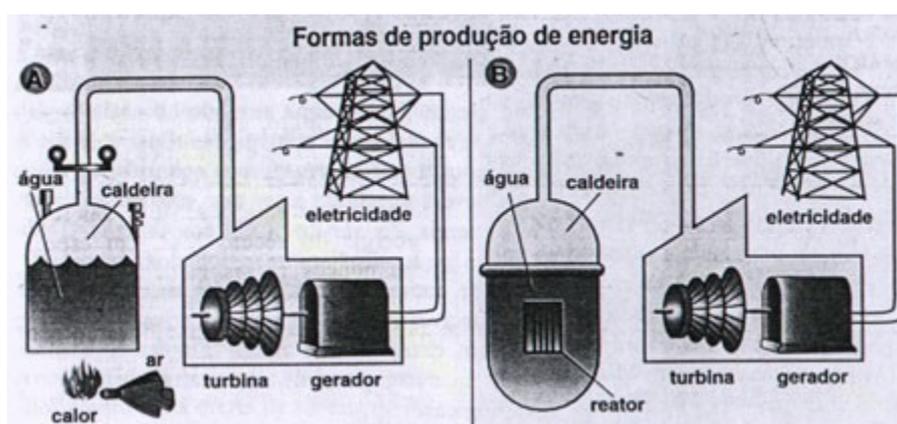


FISSÃO NUCLEAR ⇒ A instabilidade nuclear também é responsável por outros fenômenos mais complexos. Um deles é a fissão nuclear, que nada mais é do que um núcleo que se quebra em dois ou mais pedaços. Observemos a figura abaixo:



A fissão nuclear é o fenômeno que conduziu alguns pesquisadores a fabricação das primeiras bombas atômicas, porque é um processo que libera uma grande quantidade de energia, sob a forma de calor, ou seja, energia térmica.

Mas não devemos pensar que a energia nuclear só serve para produzir bombas nucleares. Alguns países necessitam ter usinas nucleares, pois há os que possuem poucos recursos naturais, para a geração de energia por meios convencionais, tais como: hidrelétricas, que utilizam como fonte de energia a água proveniente de rios; termoelétricas, que utilizam como fonte de energia o petróleo, o gás natural ou o carvão mineral; usinas eólicas, que utilizam como fonte de energia os ventos; entre outros.

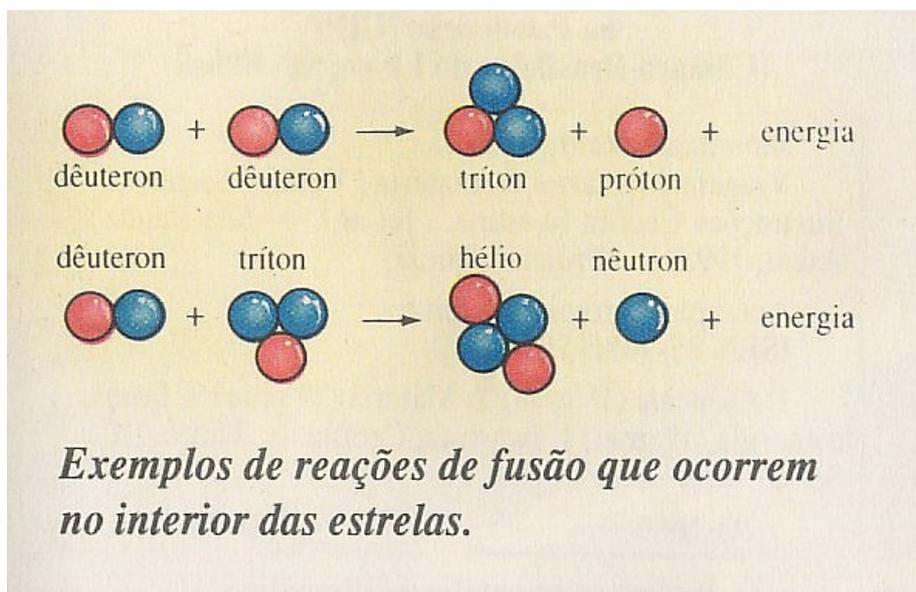


(A) NUMA USINA TERMOELÉTRICA, O CALOR RESULTANTE DA QUEIMA DE ÓLEO COMBUSTÍVEL, GÁS NATURAL OU CARVÃO MINERAL, AQUECE A ÁGUA DE UMA CALDEIRA, PRODUZINDO VAPOR QUE MOVERÁ AS TURBINAS. (B) NUMA USINA ATÔMICA, O CALOR É PRODUZIDO PELA FISSÃO NUCLEAR, REALIZADA NO REATOR ATÔMICO, SENDO O RESTANTE DO PROCESSO SEMELHANTE NOS DOIS TIPOS DE USINA.

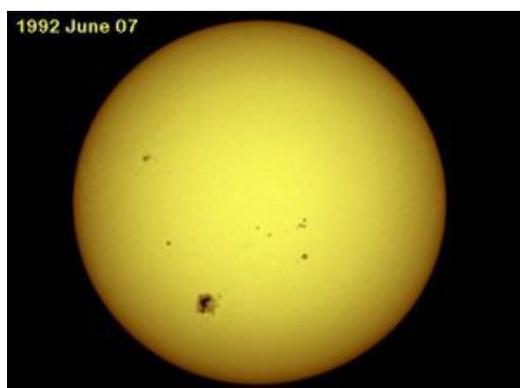
Um dos problemas que a energia nuclear apresenta, para a sua utilização em larga escala, é que se trata de uma tecnologia ainda muito cara, respondendo hoje por apenas 5% da energia consumida no planeta Terra. Outro problema,

ainda bem maior do que o primeiro, é que ela apresenta alguns riscos sérios para o meio ambiente, logicamente, para qualquer tipo de ser vivo.

FUSÃO NUCLEAR ⇒ O processo de fusão nuclear pode ser resumido, aproximadamente, como sendo um fenômeno inverso da fissão nuclear, isto é, nele ocorre a agregação de núcleos atômicos, para a constituição de outros núcleos atômicos. Esse fenômeno ocorre, de forma natural, no interior das estrelas, sendo responsável pela liberação de imensa quantidade de energia, em forma de luz e calor, que recebemos delas, principalmente, do Sol. Nas estrelas, os núcleos atômicos de hidrogênio (H) pesado, chamados de dêuteron e trítion, se fundem, para constituírem núcleos atômicos de hélio (He), liberando imensa quantidade de energia. Observemos a figura abaixo:



Tais reações nucleares se passam dentro do plasma, que é emitido pelas estrelas, em nosso caso particular o Sol, sob a forma de vento, não o vento causado pela movimentação do ar, sendo, desta forma, chamado de vento solar, a que nos referimos, anteriormente, neste trabalho. Somente, lembrando, plasma é a emissão no espaço, em alta velocidade, de prótons e elétrons livres.



O SOL, ÚNICA ESTRELA DO NOSSO SISTEMA PLANETÁRIO, PODE SER CONSIDERADO UM IMENSO REATOR TERMO-NUCLEAR NATURAL.

A fusão nuclear é a base da bomba de hidrogênio (H), conhecida como bomba H, muito mais poderosa e destruidora do que a bomba atômica comum, utilizada pelos Estados Unidos contra o Japão, na Segunda Guerra Mundial, na qual era utilizado o processo de fissão nuclear, já visto anteriormente.

Mas não vamos pensar por esse lado da questão, porque o que mais nos interessa aqui, em nosso estudo, é o fenômeno natural, e não aquele provocado pelo homem, para satisfazer aos seus interesses.

No início deste trabalho, falamos sobre coisas ou objetos que nos rodeiam e que podemos ver naturalmente, sem o auxílio de instrumentos, as quais pertencem ao universo macroscópico. Agora, quase no final do mesmo, depois que estudamos modelos e teorias que procuram explicar o que ocorre no interior da matéria, ou seja, no universo microscópico, apresentamos os fenômenos nucleares, dos quais, a fusão nuclear, é muito importante para a nossa sobrevivência, porque é um tipo de reação atômica responsável pela geração da energia que recebemos dos astros, no nosso caso, mais diretamente, do Sol.

Certamente foi percebido, por tudo o que foi dito neste trabalho, que não apenas os dois universos estão interligados, o macrocosmo e o microcosmo, como também vivemos integrados a eles e em função deles. Mais do que isso, eles estão, constantemente, nos convidando, à fascinante viagem pelos caminhos do conhecimento.

* * * * *

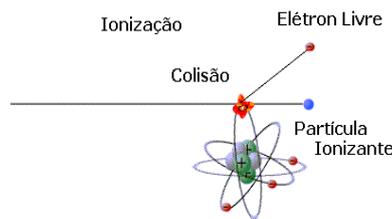
FIM DA 3ª PARTE

CAPÍTULO 8 – RADIAÇÕES IONIZANTES E NÃO-IONIZANTES

8.1 – INTRODUÇÃO

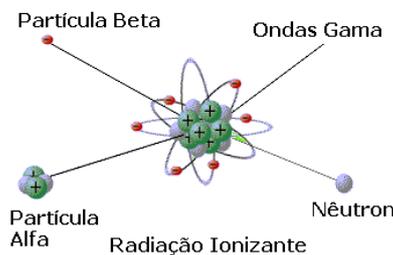
As radiações, de um modo geral, são de dois tipos: (1) radiações ionizantes; e (2) radiações não-ionizantes.

Radiação ionizante é a radiação que possui energia suficiente para ionizar átomos e moléculas. A emissão de partículas ou de ondas eletromagnéticas de um núcleo instável, com energia suficiente para remover um elétron de um átomo, é chamada de radiação ionizante. Observemos a figura abaixo:

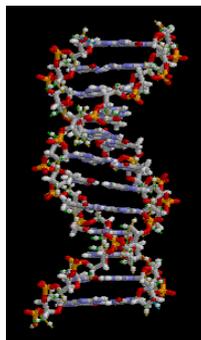


PRODUÇÃO DE UMA PARTÍCULA IONIZANTE.

Essas partículas emitidas podem ser partículas alfa (α), partículas beta (β), nêutrons e raios gama (γ), sendo que estes últimos se assemelham muito aos raios-X, porém, com origem, ou seja, forma de produção diferente. Observemos a figura abaixo:



As radiações do tipo ionizante podem danificar células nos seres vivos, sejam animais ou vegetais, afetando o material genético (DNA) existente nas mesmas, causando doenças graves, como por exemplo, câncer, podendo levar a morte o indivíduo irradiado. Na figura abaixo é apresentada uma molécula de DNA:

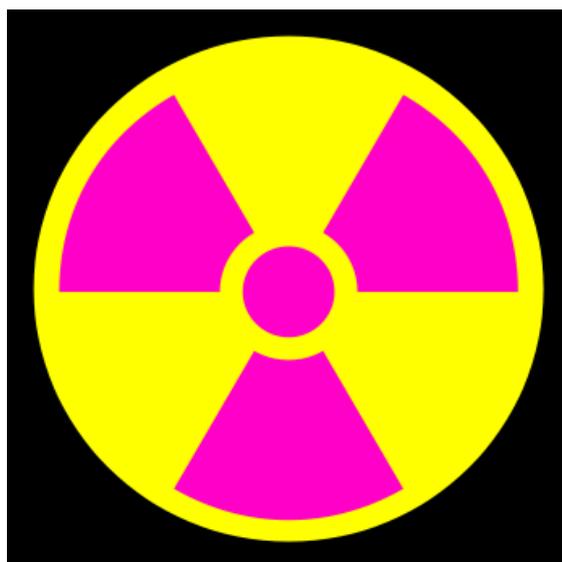


MOLÉCULA DE DNA.

A radiação eletromagnética do tipo ultravioleta, excluindo a faixa inicial UV-A ou UV próximo, que é a menos energética, é do tipo ionizante. Partículas, tais como prótons e elétrons, que possuem altas energias, também são ionizantes. Observemos a tabela apresentada abaixo:

RAIOS UV-C	200-290 nm	São absorvidos pela camada de ozônio.
RAIOS UV-B (0,1% da energia eletromagnética que chega na Terra)	290-320 nm	Possuem uma intensa atividade fisio-patológica sobre a pele. Não obstante, não penetram profundamente nas camadas cutâneas. São em grande parte absorvidas em cima da derme. São responsáveis pelo enriquecimento solar. A curto prazo e a longo prazo provocam cânceres cutâneos.
RAIOS UV-A (4,9% da energia eletromagnética que chega na Terra)	320-400 nm	Possuem uma energia muito menor que os UV-B. Seus efeitos biológicos são cumulativos (efeitos a longo prazo). Penetram profundamente na derme. Interferem nos fenômenos do foto-envelhecimento e na gênese de certos cânceres.
LUZ VISÍVEL (40% da energia eletromagnética que chega na Terra)	400-700 nm	A parte visível do espectro solar pode ser nociva às células. Tem um papel coadjuvante no foto-envelhecimento cutâneo.
RAIOS INFRAVERMELHOS (55% da energia eletromagnética que chega na Terra)	700-3000 nm	A ação prolongada do calor pode provocar sérios efeitos secundários na pele.

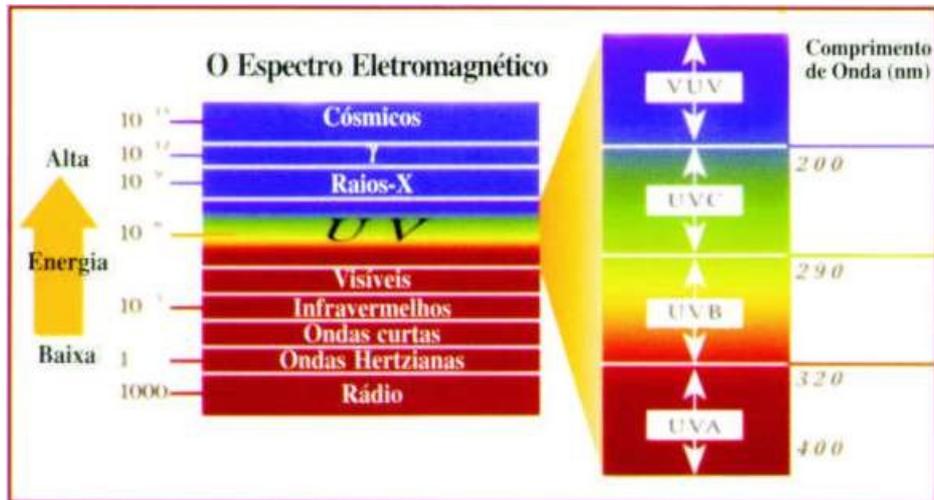
Como foi dito anteriormente, as partículas alfa (α), as partículas beta (β), os nêutrons, os raios gama (γ) e os raios X, são exemplos de radiação ionizante.



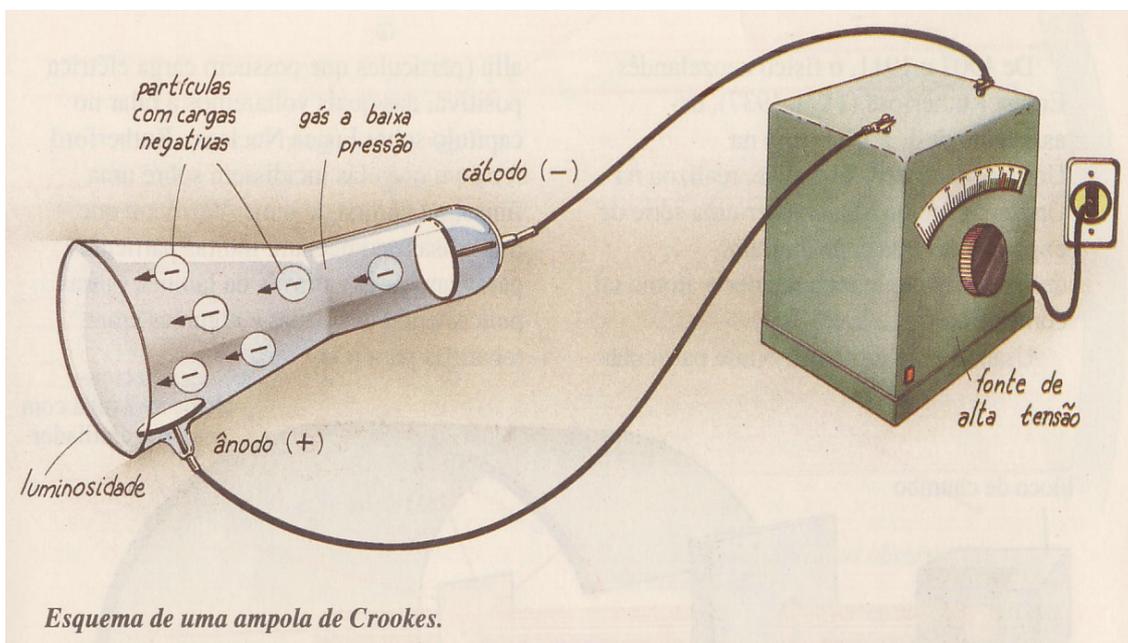
SÍMBOLO DA PRESENÇA DE RADIAÇÃO IONIZANTE.

Radiação não-ionizante é a radiação de frequência igual ou menor que a da luz visível, abaixo, portanto, da radiação ultravioleta. Geralmente, a faixa de frequência mais baixa da radiação ultravioleta, UV-A ou UV próximo, é também

considerada uma radiação não-ionizante, ainda que ela, e, até mesmo, a luz visível, possam ionizar determinados átomos. Observemos a figura abaixo:



As radiações não-ionizantes não alteram, ou seja, não ionizam os átomos e as moléculas, mas mesmo assim, algumas podem causar problemas de saúde. Está demonstrado, por exemplo, que as microondas podem causar, além de queimaduras, danos ao sistema reprodutor. Existem também estudos sobre danos causados pelas radiações de monitores de computador, chamadas de radiações de Tubo de Raios Catódicos (CRT) (Cathode Ray Tube), de aparelhos celulares, de ondas de radiofrequência, e até mesmo da rede de distribuição elétrica de 60 Hz.



RADIAÇÃO DE TUBO DE RAIOS CATÓDICOS (CRT).

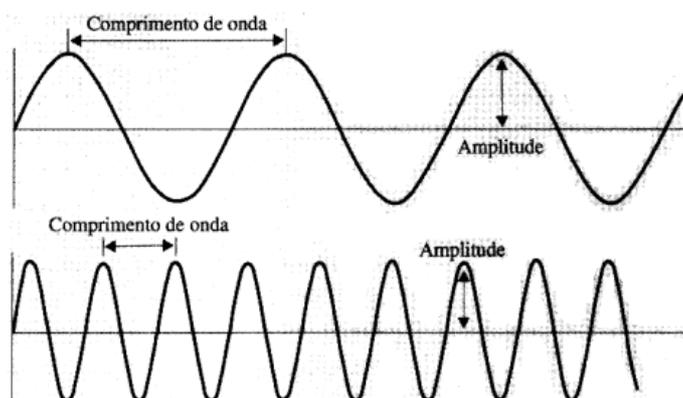
Desta forma, podemos dizer que radiação é a propagação de energia sob diferentes formas. Com relação à forma de propagação da radiação, ela é dividida, geralmente, em dois grupos: (1) radiação eletromagnética; e (2) radiação corpuscular.

A radiação corpuscular é constituída por um feixe de partículas elementares ou por núcleos atômicos, tais como: elétrons; prótons; nêutrons; mésons; dêuterons; partículas alfa (α); e partículas beta (β). Dentre as quais, algumas serão estudadas, detalhadamente, mais adiante neste trabalho.

8.2 – RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

A radiação eletromagnética é constituída por ondas eletromagnéticas, que se originam de campos elétricos e magnéticos oscilantes ou vibratórios, e que se propagam com velocidade constante no vácuo de cerca de 300.000 quilômetros por segundo, a mesma velocidade das ondas luminosas. São exemplos de radiação eletromagnética: ondas de rádio, ondas luminosas (luz visível), raios infravermelhos, raios ultravioletas (UV); raios X; e raios gama (γ).

As grandezas, utilizadas para a caracterização de uma onda eletromagnética, são o comprimento de onda (λ), a freqüência da onda (f) e a amplitude de onda da radiação. Observemos a figura abaixo:



O COMPRIMENTO DE ONDA DA ONDA SUPERIOR É TRÊS VEZES MAIOR DO QUE O DA ONDA INFERIOR, PORÉM, A SUA FREQUÊNCIA É APENAS UM TERÇO DA FREQUÊNCIA DA ONDA INFERIOR, TENDO AMBAS A MESMA AMPLITUDE DE ONDA.

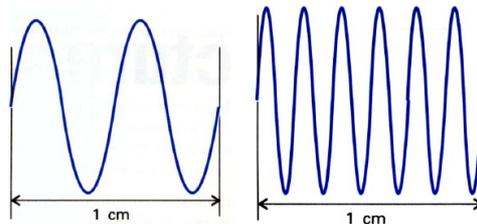
8.3 – ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

Podemos perguntar: O que têm em comum as ondas de rádio, as ondas luminosas (luz visível), os raios infravermelhos, os raios ultravioletas (UV), os raios X e raios gama (γ)? À primeira vista nada, pois são fenômenos que apresentam propriedades muito diferentes. Por exemplos, a luz visível ilumina os objetos, os raios X permitem ver o interior do corpo humano e de determinados objetos e, as ondas de rádio, permitem a transmissão e a recepção de vozes, música e imagens à grandes distâncias.

Por outro lado, as radiações eletromagnéticas são semelhantes. Qualquer uma delas é uma oscilação ou vibração de campos elétricos e magnéticos, que

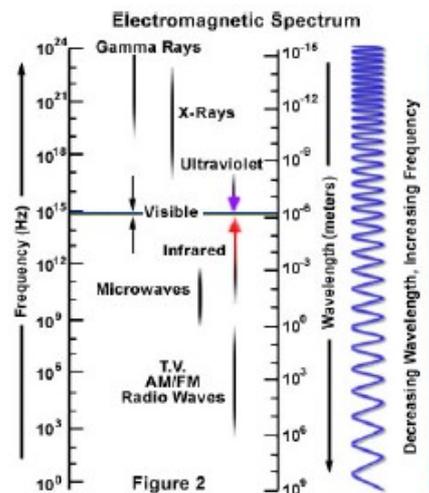
se propagam no espaço com a velocidade da luz, que é de cerca de 300.000 quilômetros por segundo, como foi dito anteriormente.

As ondas de rádio, as ondas luminosas (luz visível), os raios infravermelhos, os raios ultravioletas (UV), os raios X, bem como os raios gama (γ), são ondas eletromagnéticas. O que as diferencia, entre si, é o comprimento de onda de cada uma delas. O comprimento de onda influencia, diretamente, na frequência da radiação eletromagnética. Quanto maior for o comprimento de onda, menor será a frequência da radiação eletromagnética. Conforme podemos observar na figura abaixo:



DIFERENTES COMPRIMENTOS DE ONDA E FREQUÊNCIA EM UM MESMO ESPAÇO OU INTERVALO DE TEMPO.

O conjunto de todas as ondas eletromagnéticas é chamado de espectro eletromagnético. O espectro de ondas eletromagnéticas pode ser observado na figura abaixo:

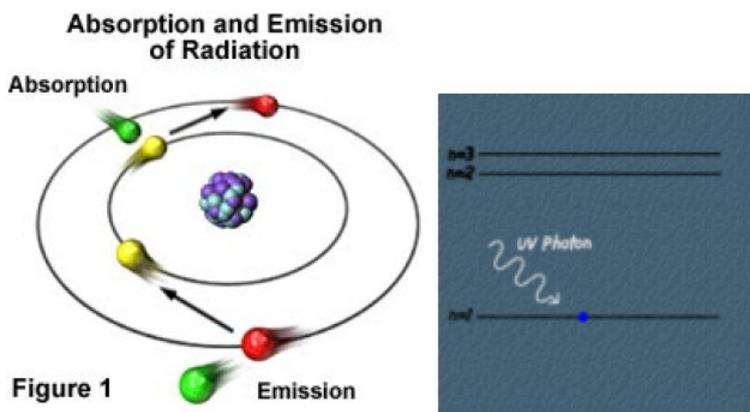


ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.

8.4 – TEORIA DOS QUANTA

O físico alemão Max Planck (1858-1947), em 1901, e o também físico alemão Albert Einstein (1879-1955), em 1905, iniciaram a formulação da Teoria dos Quanta. Segundo essa teoria, a radiação eletromagnética é emitida e se propaga, descontinuamente, em pequenos pulsos de energia, chamados de pacotes de energia, quanta ou fótons. Desta forma, a onda eletromagnética apresenta, também, um caráter corpuscular.

Fótons são partículas subatômicas, sem carga elétrica e massa de repouso nula. Max Planck (1858-1947) descobriu que todos os fótons, associados a uma frequência particular da luz visível, possuem a mesma energia, diretamente proporcional a mesma.



PRODUÇÃO DE FÓTONS DE LUZ.

O fóton é a menor porção da luz visível, que pode ser emitida ou absorvida em qualquer processo. Podemos também dizer que o fóton é a menor unidade da luz visível, que pode ser absorvida por uma célula fotossensível, como ocorre com a retina do olho humano.

8.5 – DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA

Desde a descoberta, em 1905, por Albert Einstein (1879-1955), das propriedades corpusculares das ondas eletromagnéticas, através do efeito fotoelétrico, passaram-se quase 20 anos, antes que alguém especulasse sobre a possibilidade de o inverso também ser válido.

Em 1924, o físico francês Louis de Broglie (1892-1987) apresentou a teoria de que a matéria possuía tanto características ondulatórias quanto características corpusculares.

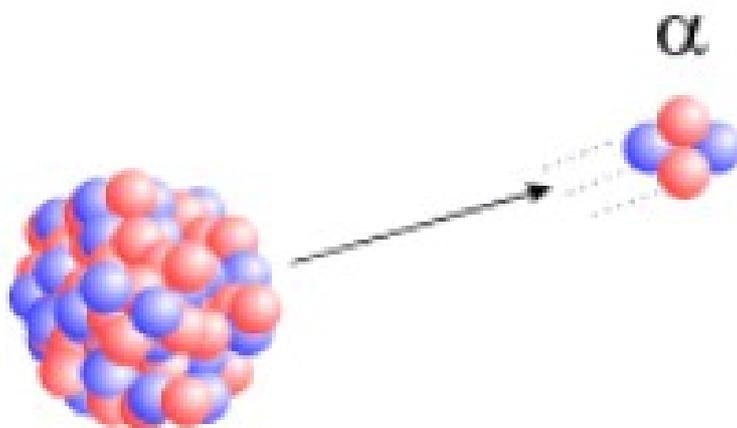
8.6 – TIPOS DE RADIAÇÃO E SUAS CARACTERÍSTICAS

As radiações de ambos os tipos sejam elas eletromagnéticas ou corpusculares, quando possuem energia suficiente, são capazes de atravessar a matéria, e, ionizar, ou seja, remover elétrons de suas órbitas, em átomos e moléculas, modificando-lhes, desta forma, o comportamento químico. Como consequência, podem ocorrer mutações genéticas e modificações nas células vivas. Essa ação destrutiva, sobre as células, pode ser utilizada no tratamento de tumores cancerígenos. Embora, essas radiações produzam efeitos gerais, semelhantes nos seres vivos, cada uma delas possui características próprias.

A seguir serão examinadas as características individuais de alguns dos tipos mais comuns de radiação eletromagnética, principalmente, pela sua utilização na área médica, que é o que nos interessa neste trabalho.

8.7 – RADIAÇÃO ALFA OU PARTÍCULA ALFA (α)

As partículas alfa (α) são núcleos do átomo de hélio (He), constituídos de dois prótons e dois nêutrons. Uma partícula alfa (α) é, pois, muito mais pesada do que um elétron e, sua trajetória num meio material, é retilínea.



PARTÍCULAS ALFA (α) SÃO NÚCLEOS ATÔMICOS DE HÉLIO (He).

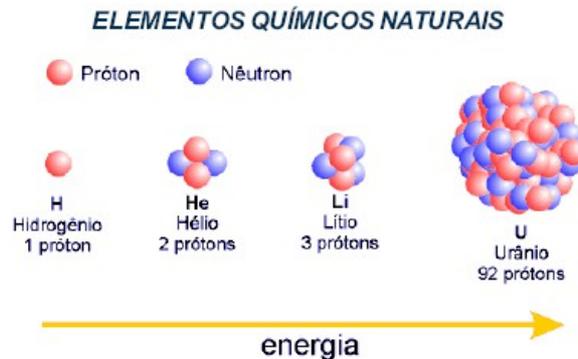
Na interação de uma partícula alfa (α) com átomos do ar, a primeira perde velocidade, conseqüentemente, poder de penetração, no meio material ao qual deve atravessar, durante o processo de ionização dos átomos que encontra no caminho.

A distância que uma partícula percorre, antes de parar, é chamada de alcance. Num dado meio, partículas alfa (α) de igual energia, têm o mesmo alcance. Portanto, aumentando-se a energia das partículas alfa (α), o chamado impulso, aumenta-se o seu alcance, ou seja, o seu poder de penetração, para um determinado meio.

Por outro lado, fixando-se a energia da partícula alfa (α), o alcance diminui e a densidade do meio aumenta.

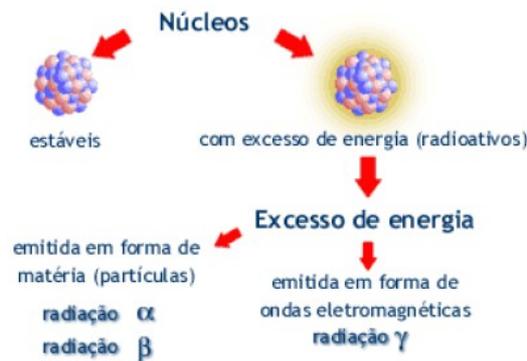
O alcance das partículas alfa (α) é muito pequeno, o que faz com que elas sejam facilmente bloqueadas. Uma folha de papel é capaz de bloquear, completamente, um feixe de partículas alfa (α). Mesmo sem nenhum material para bloqueá-las, as partículas alfa (α) não conseguem atravessar a pele humana. Entretanto, a ingestão de uma fonte emissora de partículas alfa (α), por um indivíduo, poderá causar-lhe grandes danos a certas partes do organismo.

As partículas alfa (α) são produzidas, principalmente, nos decaimentos de elementos pesados, tais como: urânio (U), tório (Th), plutônio (Pu), rádio (Ra), entre outros.



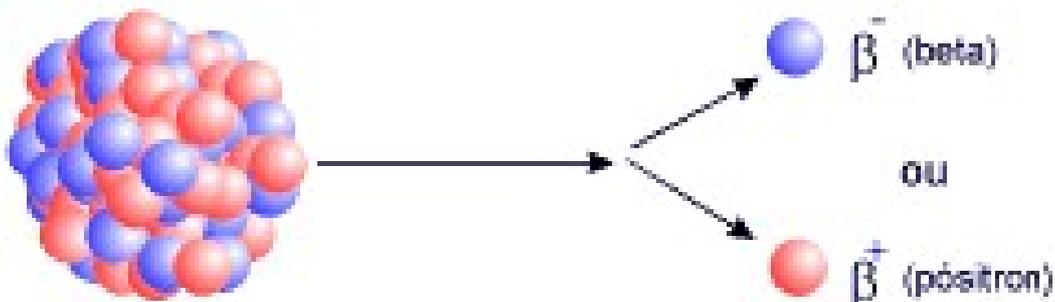
A ENERGIA DOS ÁTOMOS AUMENTA DE ACORDO COM O AUMENTO DO NÚMERO ATÔMICO.

Normalmente, as partículas alfa (α) são acompanhadas de partículas beta (β) e de raios gama (γ). Observemos a figura abaixo:



8.8 – RADIAÇÃO BETA OU PARTÍCULA BETA (β)

As partículas beta (β) são elétrons (e^-) e pósitrons (e^+), este último são partículas idênticas aos elétrons, exceto pelo sinal de carga elétrica. As partículas beta (β) são muito mais penetrantes do que as partículas alfa (α).

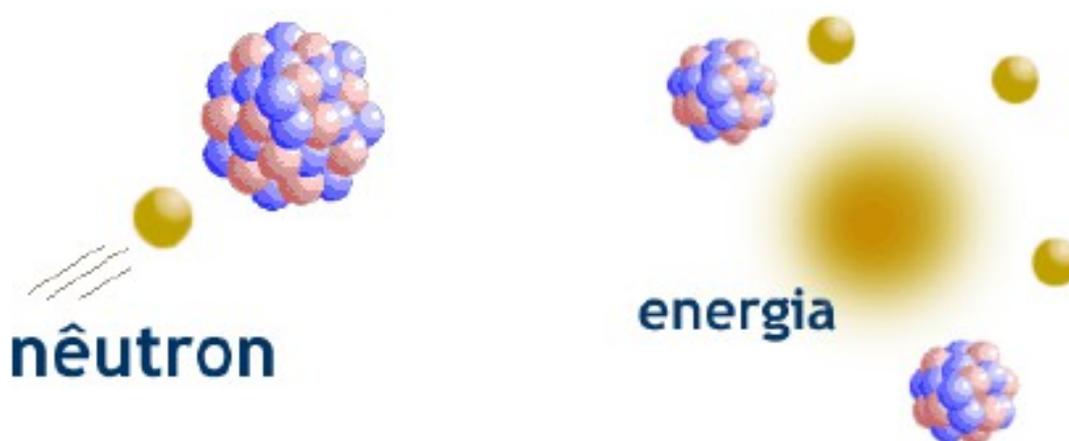


PARTÍCULAS BETA (β) SÃO ELÉTRONS (e^-) E PÓSITRONS (e^+).

A radiação beta (β), ao atravessar um meio material, também perde energia, conseqüentemente, poder de penetração, durante o processo de ionização dos átomos e moléculas que encontra no caminho. Para bloquear as partículas beta (β) pode-se utilizar uma folha de alumínio.

8.9 – NÊUTRONS (n)

Os nêutrons são partículas sem carga elétrica e não produzem ionização diretamente, mas o fazem indiretamente, transferindo energia para outras partículas carregadas que, por sua vez, podem produzir ionização.



NÊUTRONS SÃO PARTÍCULAS SEM CARGA ELÉTRICA, PORÉM, COM ALTA ENERGIA..

Os nêutrons percorrem grandes distâncias através da matéria, antes de interagir com o núcleo dos átomos que constituem o meio. Possuem grande poder de penetração, e podem ser bloqueados por materiais ricos em hidrogênio, como por exemplos, parafina ou água.

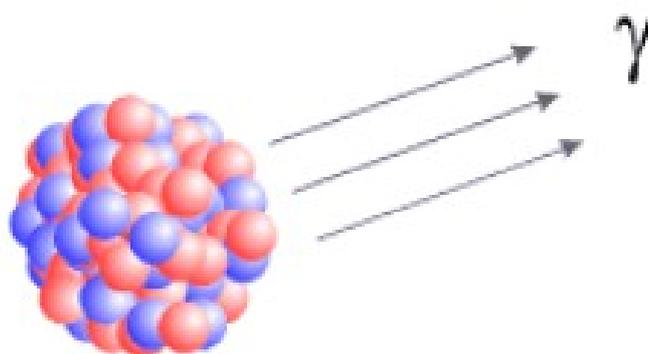
8.10 – RADIAÇÃO GAMA OU RAIOS GAMA (γ)

A radiação gama ou raios gama (γ) é um tipo de radiação eletromagnética produzida, geralmente, por elementos radioativos, em processos subatômicos, como a aniquilação de um par de pósitron e elétron.

Devido às altas energias que possuem, os raios gama (γ) constituem um tipo de radiação ionizante, capaz de penetrar na matéria, mais profundamente do que a radiação alfa (α) ou a radiação beta (β). Devido à sua alta energia, podem causar danos ao núcleo das células dos seres vivos, principalmente, nas moléculas de DNA, causando danos irreparáveis do tipo mutações genéticas, bem como o aparecimento de células cancerosas.

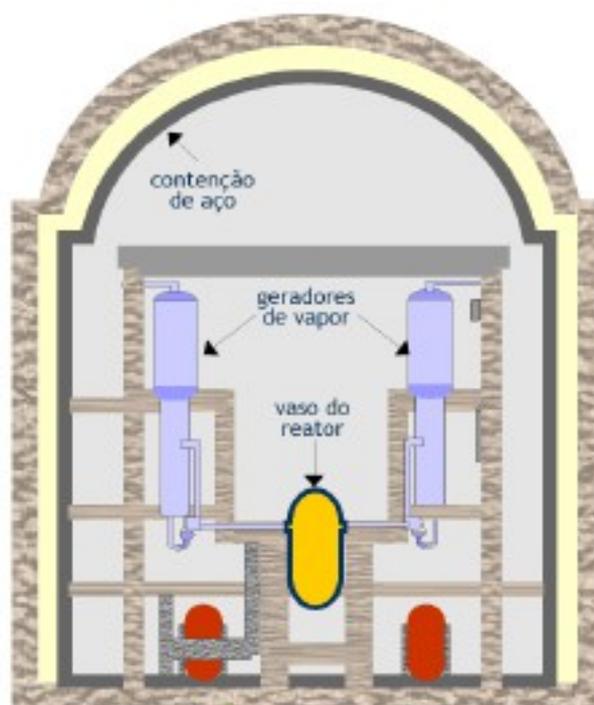
Os raios gama (γ) são tão prejudiciais à vida biológica, seja ela animal ou vegetal, que são utilizados para esterilização de equipamentos médicos e alimentos, eliminando facilmente, fungos, bactérias e microorganismos, que causam infecção ou contaminação.

Os raios gama (γ) são produzidos, na passagem de um núcleon de um nível de maior energia (excitado) para um nível de menor energia e, na desintegração de isótopos radioativos.



RAIOS GAMA (γ) NÃO SÃO PARTÍCULAS ATÔMICAS E SIM ONDAS ELETROMAGNÉTICAS COM ALTA ENERGIA..

Os raios gama (γ) estão associados, geralmente, à energia nuclear, a radioatividade ou radiatividade e aos reatores nucleares.

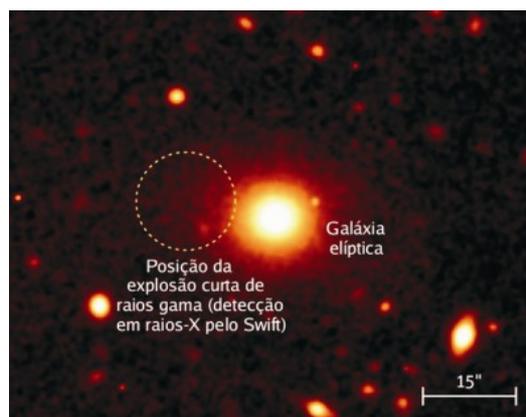


O EDIFÍCIO DO REATOR, CONSTRUÍDO EM CONCRETO E ENVOLVENDO A CONTENÇÃO DE AÇO, É A QUARTA BARREIRA FÍSICA QUE SERVE PARA IMPEDIR A SAÍDA DE MATERIAL RADIOATIVO PARA O MEIO AMBIENTE E, ALÉM DISSO, PROTEGE CONTRA IMPACTOS EXTERNOS, COMO POR EXEMPLOS, QUEDA DE AVIÕES E EXPLOSÕES.

A radioatividade se encontra na natureza, desde os raios cósmicos que bombardeiam a Terra, provenientes do Sol, das estrelas e das galáxias de fora do Sistema Solar, até alguns isótopos radioativos, que fazem parte do meio natural. Este tipo de radiação, tão energética, também é produzida em fenômenos astrofísicos de grande intensidade.

Os raios gama (γ) são produzidos em fenômenos astrofísicos de alta energia, tal como em explosões de supernovas, em núcleos de galáxias ativas, entre outros.

Em Astrofísica chama-se de erupções de raios gama (γ) (Gamma Ray Burst - GRB) às fontes de raios gama (γ) que ocorrem em posições aleatórias do espaço, ou seja, do cosmos, sem seguir uma distribuição uniforme, sendo que a sua origem ainda permanece sob discussão científica. Em todo caso, parecem constituir um dos fenômenos mais luminosos e energéticos que se conhece no Universo. Eles ocorrem em forma de potentes flashes de raios gama (γ), que duram entre uns poucos segundos até várias horas, sendo sucedidos por um brilho decrescente da fonte em raios X. Observemos a figura abaixo:



Essas erupções de raios gama (γ) foram descobertas, inicialmente, pelos satélites artificiais, encarregados de detectar explosões nucleares na atmosfera terrestre ou no espaço. Apesar da surpresa inicial, em seguida foi constatado que provinham de fora do Sistema Solar. Há que se ter em conta que os raios gama (γ), produzidos no espaço por fenômenos astrofísicos, não haviam sido descobertos até então, a partir da superfície da Terra, porque a parte mais alta da atmosfera terrestre absorve, de maneira eficaz, os mesmos.

Acima da frequência de 300 GHz, a absorção da radiação eletromagnética, pela atmosfera da Terra é tão grande, que é praticamente opaca para as frequências mais altas, até que se torna, novamente, transparente, na chamada "janela", que vai da radiação infravermelha até a luz visível. Para se observar o Universo nestas frequências, é necessária a utilização de balões de grande altitude ou telescópios espaciais. Em ambos os casos, se utiliza o efeito Compton, para detectar os raios gama (γ).

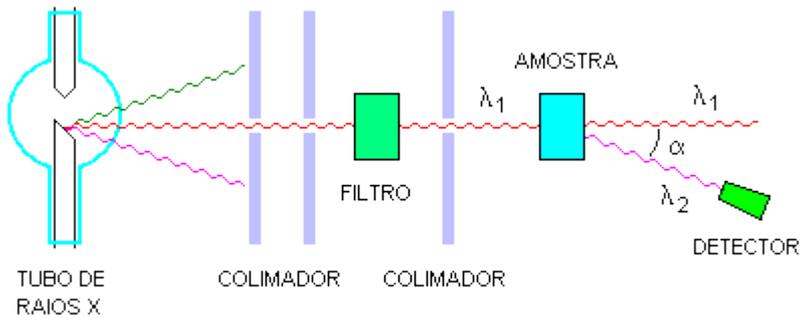


Fig.10

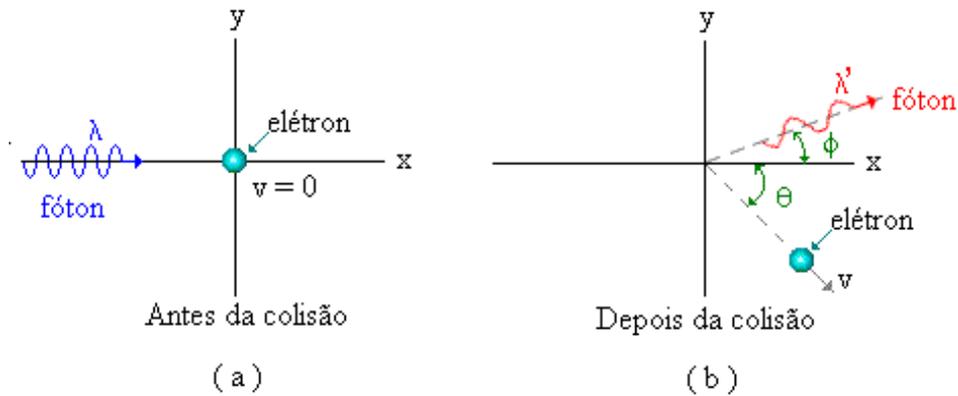
EFEITO COMPTON ⇒ Em Física, Efeito Compton ou Espalhamento de Compton, é a diminuição de energia com aumento do comprimento de onda de um fóton de raios X ou de raios gama (γ), quando ele interage com a matéria.

Espalhamento Inverso de Compton também existe, onde o fóton ganha energia, diminuindo o comprimento de onda de um fóton, pela interação com a matéria. O comprimento de onda, aumentado no total, é denominado variação de Compton. Entretanto, o espalhamento nuclear de Compton é a interação envolvendo apenas elétrons de um átomo. O Efeito Compton foi observado pelo físico norte-americano Arthur Compton (1892-1962), em 1923, pelo qual fez ele receber o Prêmio Nobel de Física, em 1927.

O Efeito Compton é importante porque ele demonstra que a luz não pode ser explicada, meramente, como um fenômeno ondulatório. O Espalhamento de Thomson, a clássica teoria de partículas carregadas, espalhadas por uma onda eletromagnética, não pode explicar determinadas variações que ocorrem no comprimento de onda. A luz deve se comportar como se fosse constituída por partículas, como condição para explicar o Efeito Compton. O experimento de Arthur Compton (1892-1962), convenceu a físicos de que a luz pode se comportar como uma corrente de partículas, cuja energia é proporcional à frequência da radiação.

A interação entre a alta energia dos fótons e os elétrons, resulta nos elétrons recebendo parte da energia, fazendo com que eles recuem, e os fótons contendo a energia restante, sendo emitidos numa direção diferente da original, sempre conservando o momentum total do sistema. Se os fótons ainda possuem bastante energia, o processo pode se repetir.

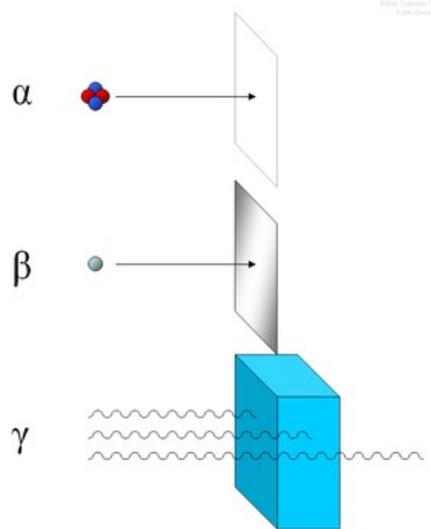
O Efeito Compton ocorre em todos os materiais e, predominantemente, com fótons de média energia. Ele é também observado com fótons de alta energia, com fótons de luz visível ou de frequências mais altas, como por exemplo, aqueles que possuem energia suficiente para expelir os elétrons arrancados do átomo, sendo este processo chamado de Efeito Fotoelétrico. Observemos a figura a seguir:



ESPALHAMENTO DE COMPTON OU EFITO COMPTON

A radiação gama é também utilizada nos exames de medicina nuclear, notadamente, nas Tomografias por Emissão de Pósitrons (PET). A radiação gama é detectável com a utilização de uma câmera gama.

Para bloquear, parcialmente, os raios gama (γ), pode-se utilizar chumbo, concreto, aço ou terra.



(1) A RADIAÇÃO ALFA (α) CONSISTE NA PROJEÇÃO DE NÚCLEOS DE HÉLIO (He), PODENDO SER BLOQUEADA POR UMA FOLHA DE PAPEL; (2) A RADIAÇÃO BETA (β) CONSISTE NA PROJEÇÃO DE ELÉTRONS, PODENDO SER BLOQUEADA POR UMA FOLHA DE ALUMÍNIO; E (3) A RADIAÇÃO GAMA (γ) CONSISTE NA PROJEÇÃO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS, PODENDO SER PARCIALMENTE BLOQUEADA POR UM MATERIAL DENSO.

8.11 – RADIOATIVIDADE OU RADIATIVIDADE

A radioatividade ou radiatividade é um fenômeno natural ou artificial, pelo qual, alguns átomos ou elementos químicos, chamados de radioativos, são capazes de emitir radiações, as quais têm propriedades de sensibilizar chapas fotográficas, ionizar gases, produzir fluorescência, atravessar corpos opacos à luz visível, entre outras. As radiações emitidas pelos elementos radioativos são, principalmente, partículas alfa (α), partículas beta (β) e raios gama (γ).

A radioatividade é uma forma de energia nuclear, muito utilizada na área médica, que consiste no fato de alguns átomos, tais como urânio (U), rádio (Ra) e tório (Th) serem “instáveis”, perdendo, constantemente, partículas alfa (α), partículas beta (β), raios gama (γ) e raios-X. O urânio (U), por exemplo, tem 92 prótons, porém, através dos séculos, vai perdendo-os na forma de radiações, até terminar o processo como chumbo (Pb), com 82 prótons estáveis.



SÍMBOLO DA PRESENÇA DE RADIOATIVIDADE.

A radioatividade pode ser de dois tipos: **(1)** radioatividade natural; e **(2)** radioatividade artificial ou induzida.

(1) RADIOATIVIDADE NATURAL \Rightarrow É aquela que se manifesta nos elementos radioativos e nos radioisótopos, que se encontram na natureza, poluindo o meio ambiente.

(2) RADIOATIVIDADE ARTIFICIAL OU INDUZIDA \Rightarrow É aquela que é produzida por transformações nucleares artificiais.

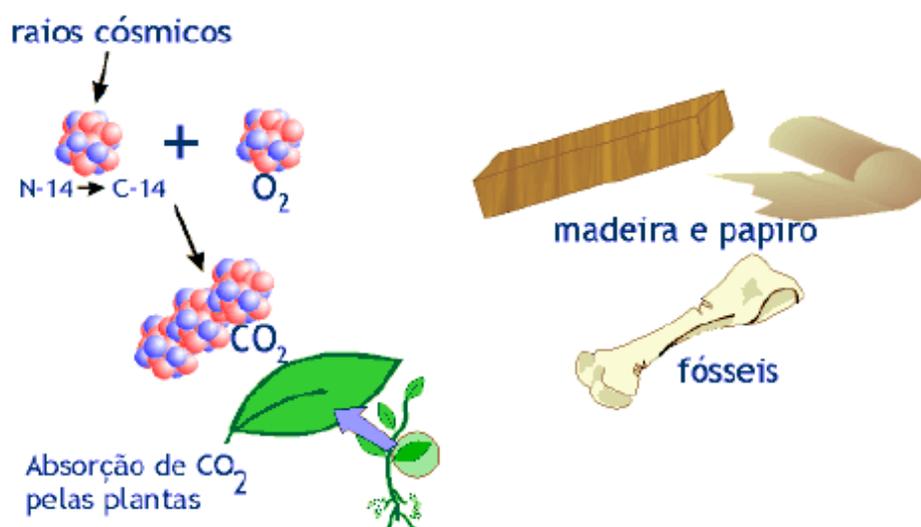


GERADOR DE TECNÉCIO, UM RADIOISÓTOPO OU RADIOFÁRMACO MUITO UTILIZADO EM RADIOTERAPIA.

8.12 – RADIAÇÕES NA NATUREZA

Toda a vida orgânica, em nosso planeta Terra, está exposta à radiação cósmica ou raios cósmicos, que são partículas com grande energia, provenientes do espaço e, à radiação proveniente de elementos químicos naturais radioativos, existentes na crosta terrestre, tais como: potássio (K), céσιο (Cs), entre outros. A intensidade dessa radiação, tem permanecido constante por milhares de anos. Nossos antepassados sempre estiveram expostos a ela, e nós também estamos. Essa radiação se chama radiação natural ou radiação de fundo, e provém de diversas fontes.

Cerca de 30% a 40% dessa radiação se deve aos raios cósmicos. Alguns materiais radioativos, como o potássio-40 (K), carbono-14 (C-14), urânio (U), tório (Th) entre outros, estão presentes em quantidades variáveis nos alimentos. Uma quantidade razoável de radiação vem do solo e de materiais de construção. Observemos a figura abaixo:



CICLO DE VIDA DO CARBONO-14 (C-14) NA NATUREZA.

O carbono-14 (C-14), mencionado acima, muito utilizado para a datação de fósseis e materiais antigos, resulta da absorção contínua dos nêutrons dos raios cósmicos, pelos átomos de nitrogênio (N), nas altas camadas da atmosfera terrestre. Esse isótopo radioativo do carbono (C), se combina com o oxigênio (O), constituindo uma molécula de gás carbônico (CO₂), que é absorvida pelos vegetais (plantas).

Fósseis de madeira, papiros e animais contêm carbono-14 (C-14), cuja meia vida é de 5.600 anos. Isso significa que a cada 5.600 anos, a atividade do carbono-14 (C-14) é reduzida à metade. Medindo-se a proporção de carbono-14 (C-14), que ainda existe nesses materiais, é possível saber a sua idade. Foi, desta forma, por exemplo, que se determinou a idade dos pergaminhos encontrados próximo ao Mar Morto.

A radiação de fundo pode variar de local para local. Para altitudes de cerca de 3.000 metros, a radiação de fundo é 20% superior à radiação de fundo ao nível do mar. Isso porque a atmosfera terrestre se encarrega de atenuá-la.

Na cidade de Guarapari, no estado do Espírito Santo, a radiação de fundo é uma das mais altas entre os locais habitados do Brasil, isso se deve à presença de areias monazíticas.

No Brasil, há outros locais onde a radiação de fundo é razoavelmente alta, estando eles situados próximo à minas de tório (Th) e de urânio (U). A cidade de Poços de Caldas, no estado de Minas Gerais, é um exemplo disso.

* * * * *

CAPÍTULO 9 – IMPORTÂNCIA DAS RADIAÇÕES NA ÁREA MÉDICA

9.1 – INTRODUÇÃO

Poder enxergar através de um corpo opaco, inclusive o corpo humano, e penetrar além da barreira física, constituída por sua superfície externa, era impensável até a descoberta dos raios X, em fins do século XIX. Poucos suspeitaram, então, que se iniciava uma nova era na história das pesquisas médicas.

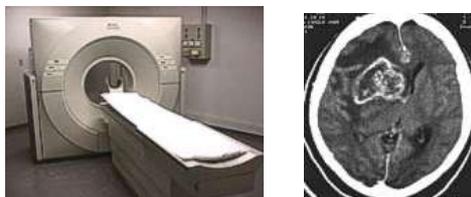
A radiologia, na área médica, é o setor que cuida da aplicação, em seres vivos, de certas radiações do espectro eletromagnético, para fins de diagnóstico por imagem ou para tratamento de doenças.

Originalmente, a Radiologia Médica utilizava apenas os raios X para fins de diagnóstico por imagem; no campo terapêutico, também se aplicava, além dos raios X, os raios gama (γ) e outras formas de radiação ionizante.



SÍMBOLO DA RADIOLOGIA.

Nas últimas décadas do século XX, porém, a Radiologia Médica adquiriu novos equipamentos e tecnologias e, passou a obter o diagnóstico por imagem mediante a utilização, não apenas de isótopos radioativos, também chamados de radioisótopos, mas também pela radiação não-ionizante, tais como ondas de ultra-som e de ressonância magnética. Igualmente, houve uma expansão no campo da radioterapia, no tratamento de doenças como o câncer, em que também se utilizavam agentes como hormônios e drogas quimioterápicas.

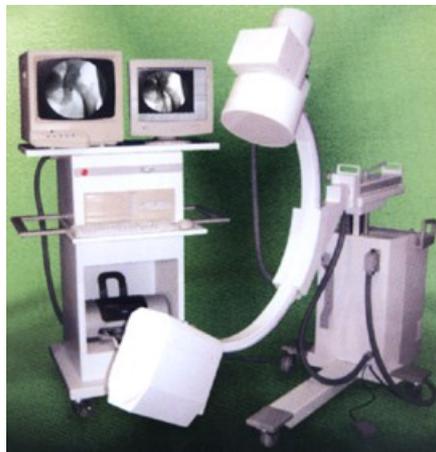


APARELHO DE TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA E IMAGEM APRESENTADA POR ELE PARA DIAGNÓSTICO MÉDICO.



APARELHO DE RESONÂNCIA MAGNÉTICA E IMAGEM APRESENTADA POR ELE PARA DIAGNÓSTICO MÉDICO.

Por meio de técnicas radiológicas, o médico radiologista pode observar e analisar estruturas internas do corpo humano, sem a necessidade de uma incisão cirúrgica. Os exames radiológicos permitem constatar a existência de fraturas ósseas, também permitem constatar a existência de obstruções de vasos e artérias, com o auxílio de métodos de injeção de substâncias radiopacas, ou seja, que absorvem raios X, chamadas de meios de contraste radiológico, assim como, alterações na forma e na posição de órgãos, entre outros.



ARCO CIRÚRGICO, APARELHO QUE UTILIZA RAIOS X PARA OBTER IMAGENS ESTÁTICAS OU COM MOVIMENTO, DO INTERIOR DO CORPO HUMANO.

A utilização dos raios X, com finalidade terapêutica, baseia-se em sua ação destruidora e modificadora sobre os tecidos vivos, especialmente, nos casos de câncer, pois esse tipo de radiação destrói, mais facilmente, as células malignas do que as células sadias.

9.2 – UTILIZAÇÃO EM RADIODIAGNÓSTICO

Como vimos acima, a Medicina utiliza os raios X na investigação de estruturas internas e de funcionamento de órgãos internos do corpo humano, num processo chamado de radiodiagnóstico por imagem.

Ao atravessar o corpo humano, a radiação é amortecida por absorção, na qual, parte da energia da radiação se transforma em outra forma de energia, como calor, ou seja, energia térmica, bem como por dispersão, na qual a trajetória retilínea dos raios X se altera e perde intensidade, numa determinada direção. Esses fenômenos dependem das interações dos raios X com os átomos constituintes do corpo humano, e não de sua constituição molecular, como acontece com a luz visível. O poder de absorção dos raios X aumenta em relação direta com o número atômico dos átomos, constituintes do corpo humano. Os principais fatores que determinam a absorção e a dispersão dos raios X, por parte do material a ser irradiado, são os tipos de átomo que o constituem, a sua densidade e a sua espessura, bem como o comprimento de onda da radiação utilizada.

Dentre todos os tipos de átomos, constituintes do corpo humano, o cálcio (Ca) é um dos que têm maior capacidade de absorção de raios X, em consequência do seu elevado número atômico, bem como por sua abundância no tecido ósseo.

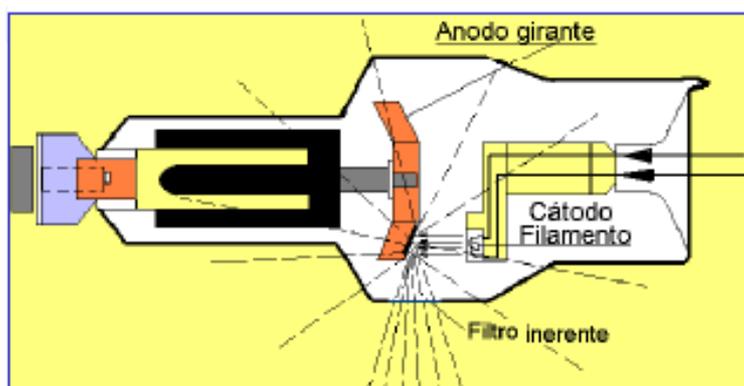


RADIOGRAFIA DE UMA PELVE (BACIA) HUMANA.

9.3 – RADIAÇÃO X OU RAIOS X

Os raios X são ondas eletromagnéticas de alta frequência, produzidos por ampolas ou tubos de vidro, com vácuo em seu interior, contendo dois elementos metálicos que funcionam como eletrodos negativo (catodo) e positivo (anodo), sendo estes conjuntos chamados de ampolas ou tubos de raios X, nos quais um feixe de elétrons é submetido a uma rápida desaceleração, ao colidir contra um alvo metálico.

Os raios X foram descobertos, acidentalmente, em 1895, pelo físico alemão Wilhelm Röntgen (1845-1923), enquanto estudava um fenômeno de luminescência. Wilhelm Röntgen (1845-1923) utilizou a denominação de raios X, por não conhecer a natureza das radiações que havia descoberto. Hoje, sabe-se, que os raios X são um tipo de radiação eletromagnética, com comprimentos de onda entre 0,001 e 10 nanômetros, consideravelmente menor, portanto, do que o comprimento de onda da luz visível, que mede cerca de 500 nanômetros.

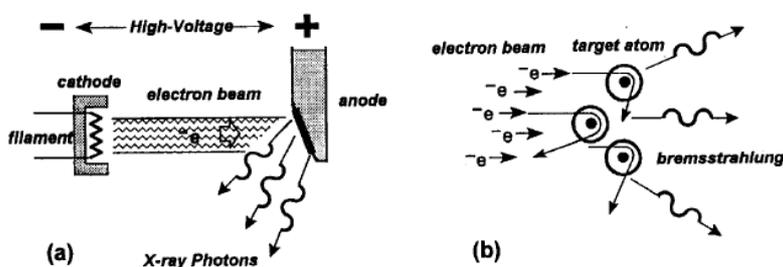


INTERIOR DE UMA AMPOLA OU TUBO DE RAIOS X EM FUNCIONAMENTO.

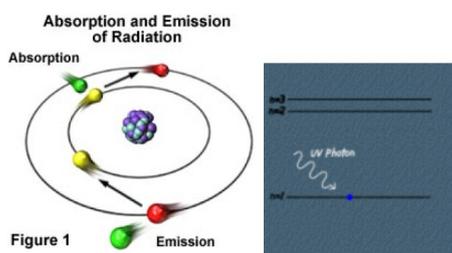
Quando uma partícula, neste caso em particular, um elétron, se move no vácuo, com ausência de força, sua energia se conserva. Se, porém, ela se choca com um obstáculo, ou seja, é freada, parte de sua energia se transforma em

radiação eletromagnética, mais precisamente, em um fóton de radiação X. O comprimento de onda da radiação emitida depende da quantidade de energia perdida pela partícula. Quanto maior for essa energia, maior será a frequência da radiação emitida, e menor, portanto, seu comprimento de onda.

Um elétron livre, movendo-se no espaço, ao ser acelerado por um canhão eletrônico ou por qualquer outro tipo de acelerador eletrônico, pode assumir qualquer valor de energia cinética. Inversamente, pode perder uma quantidade de energia, ao sofrer um frenamento, ou seja, uma desaceleração. Desta forma, pode emitir raios X, dotados de qualquer valor de frequência. Frenando diversos elétrons, todos dotados de energias diferentes, o que se consegue muito simplesmente, mediante o choque dos mesmos com um material sólido, obtém-se uma radiação X que contém diversos comprimentos de onda eletromagnética, sendo por este motivo chamada de radiação contínua. Observemos a figura abaixo:



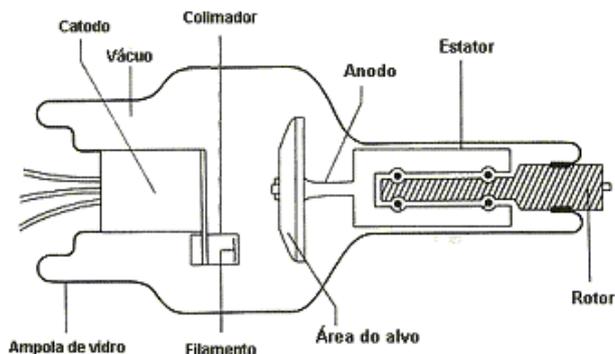
Sabemos que os elétrons de um átomo giram em torno do núcleo em diversas órbitas “circulares”. Os elétrons, cujas órbitas estão mais próximas do núcleo, estão ligados mais fortemente ao mesmo. Retirando-se um desses elétrons, o átomo fica instável e, rapidamente, outro elétron, que anteriormente estava livre e energizado, situado em uma órbita mais externa, toma o seu lugar. Nesse processo é liberada certa quantidade de energia, que é emitida pelo átomo sob a forma de radiação X. A frequência dessa radiação depende da estrutura atômica do material que serviu de obstáculo, bem como da posição de onde provinha o elétron livre ou energizado, que efetuou a troca. Observemos a figura seguinte:



PRODUÇÃO DE FÓTONS DE RADIAÇÃO X.

Átomos iguais emitem raios X com mesmo comprimento de onda, quando o elétron, próximo ao núcleo, é extraído. As radiações emitidas possuem comprimentos de onda bem definidos, e não em toda a faixa, como no caso da

radiação de frenamento. Observa-se, então, que o espectro de emissão da radiação característica dos átomos é constituído por diversas radiações distintas, de comprimentos de onda bem definidos, em contraposição ao espectro de radiação de frenamento, que é um espectro contínuo.

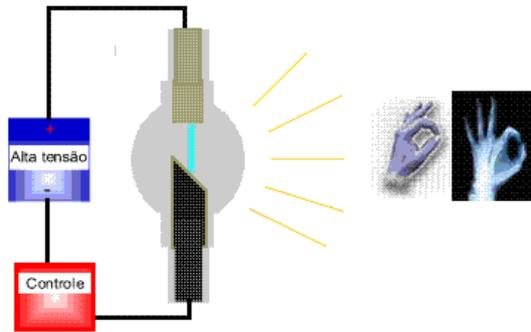


ESTRUTURA INTERNA DE UMA AMPOLA OU TUBO DE RAIOS X.

A figura acima apresenta a estrutura interna de uma ampola ou tubo de raios X. O feixe de elétrons é produzido pela passagem de uma corrente elétrica através de um filamento, fabricado com tungstênio e colocado no cátodo (eletrodo negativo), que produz o seu aquecimento e a conseqüente emissão dos mesmos. Acelerados por um campo elétrico, em direção ao ânodo ou placa (eletrodo positivo), os elétrons vão se chocar contra este último, que se torna um alvo, sendo o mesmo fabricado com cobre ou com molibidênio. O molibidênio possui uma maior resistência à altas temperaturas. No choque, cerca de 1% do feixe de elétrons transforma-se em radiação X, que escapa da ampola ou tubo através de uma janela. Os 99% restantes convertem-se em calor, motivo pelo qual se explica o perfeito sistema de resfriamento existente nas ampolas ou tubos de raios X, sendo, em alguns casos, utilizado água pura para resfriamento do catodo (eletrodo negativo) e, a imersão das mesmas em silicone líquido, a fim de dissipar melhor o calor produzido por todo o conjunto.

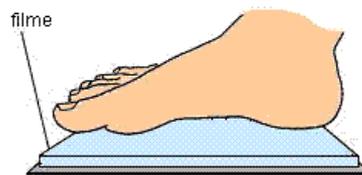
A intensidade da radiação X depende da intensidade da corrente elétrica (amperagem) que passa pelo filamento (catodo), enquanto que o comprimento de onda é inversamente proporcional à diferença de potencial elétrico (voltagem) existente entre o cátodo e o ânodo. Esta característica é importante, uma vez que quanto menor for comprimento de onda, maior será o poder de penetração dos raios X.

Os raios X têm a propriedade de atravessar, com certa facilidade, os materiais de baixa densidade, como a carne do corpo humano, e de serem mais absorvidos por materiais de densidade mais elevada, como os ossos do corpo humano, que contêm cálcio (Ca), material de alta densidade. Em virtude desta propriedade, logo após a sua descoberta, os raios X passaram a ser amplamente utilizados na área médica, para se obter radiografias do interior do corpo humano. Observemos a figura a seguir:



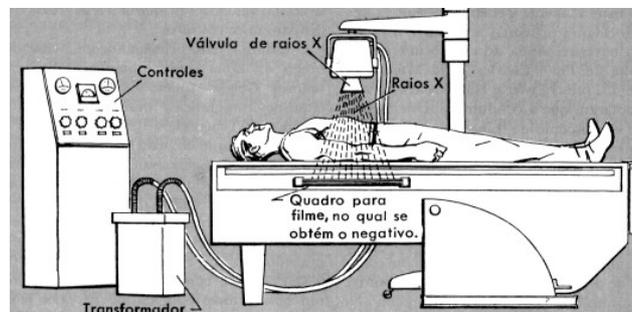
REALIZAÇÃO DE UMA RADIOGRAFIA EM PERFIL DA MÃO ESQUERDA DE UM PACIENTE.

Somente os raios X que atravessam o corpo humano, alcançam o filme radiográfico e o sensibilizam. Obtém-se, desta forma, uma imagem radiográfica, na qual as áreas mais claras correspondem aos ossos e aos tecidos (órgãos) de maior densidade. Observemos a figura abaixo:



REALIZAÇÃO DE UMA RADIOGRAFIA EM AP (ANTERO-POSTERIOR) DO PÉ DIREITO DE UM PACIENTE.

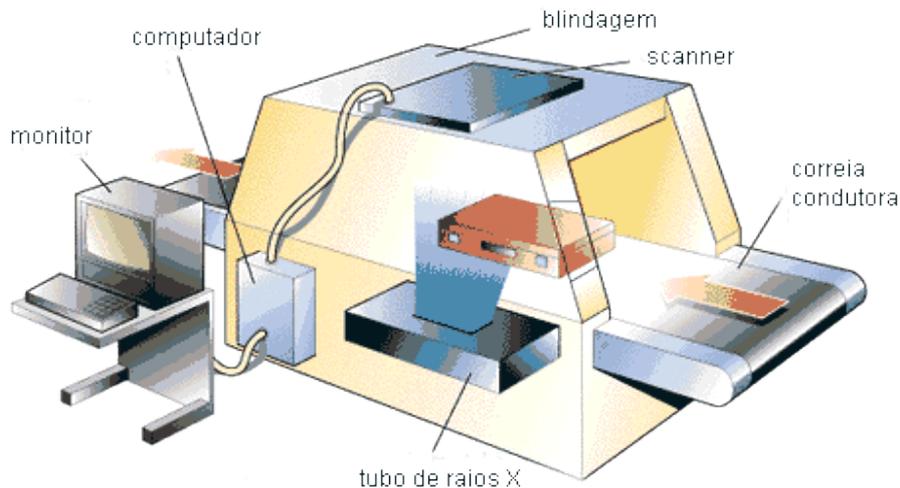
Os exames de raios X são utilizados em Radiologia Médica, para diagnosticar fraturas e doenças. São utilizados, ainda, na Tomografia Computadorizada (TC), no tratamento de diversos tipos de câncer, no estudo da estrutura do DNA, entre outros.



UTILIZAÇÃO DOS RAIOS X EM EXAMES DE RADIODIAGNÓSTICO EM RADIOLOGIA MÉDICA.

Os raios X têm grande utilidade na vida moderna. Além da sua utilização na área médica, seu poder de penetração é também muito útil na área industrial, na verificação da qualidade e na localização de defeitos estruturais, em peças e materiais diversos. Podem ser utilizados em materiais comuns, como no estudo das estruturas internas de cristais, e em quase todos os campos da Ciência e da Tecnologia.

Os inspetores de alfândega utilizam os raios X para inspecionar malas e pacotes. Os objetos mais densos, contidos nas malas e pacotes, absorverão mais raios X do que os objetos menos densos, o que permite localizar armas ou objetos metálicos. Observemos a figura a seguir:



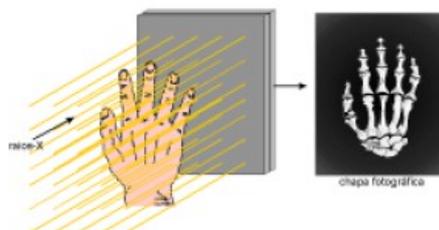
EQUIPAMENTO DE RAIOS X INDUSTRIAL UTILIZADO EM ALFÂNDEGAS PARA INSPECIONAR MALAS E PACOTES.

Algumas fontes de radiação eletromagnética, extremamente quentes, tais como as estrelas, podem emitir raios X de forma natural; aqueles que são capazes de chegar até a Terra, geralmente, são absorvidos pelas camadas mais altas da atmosfera.



FOTOGRAFIA DO SOL OBTIDA COM UMA CAMERA FOTOGRAFICA PARA CAPTAR, SOMENTE, OS RAIOS X EMITIDOS POR ELE.

Os raios X são invisíveis, mas podemos detectá-los de três maneiras. Primeiro: eles ionizam o ar e outros gases, por conseguinte, podemos utilizar um detector de radiação X. Segundo: eles enegrecem, ou seja, sensibilizam os filmes fotográficos, do mesmo modo que a luz. Terceiro: eles fazem alguns materiais fluorescerem, ou seja, emitirem luz, como no caso dos écrans, utilizados no interior dos chassis radiográficos. Observemos a figura abaixo:

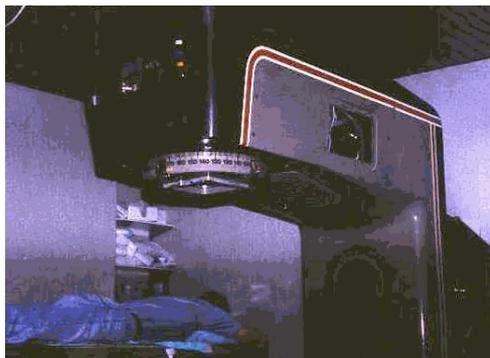


9.4 – UTILIZAÇÃO EM RADIOTERAPIA

A utilização da radiação com fins terapêuticos aproveita a sua dupla ação, destruidora e modificadora, nos tecidos dos seres vivos.

A radioterapia consiste no tratamento de diferentes tipos de doença, pela aplicação de radiações ionizantes, em particular os raios X.

As primeiras pesquisas em Radiologia Médica, revelaram que altas doses de radiação provocavam, depois de algum tempo, manchas vermelhas na pele dos pacientes irradiados, que poderiam resultar em queimaduras e ulcerações. Mesmo baixas doses, repetidas vezes, podiam produzir sérias lesões. Deduziu-se, então, que um fenômeno capaz de produzir tais danos, em tecidos normais, poderia ser dirigido contra tecidos anormais e indesejáveis, como no caso do câncer.



PACIENTE SENDO SUBMETIDO A UM TRATAMENTO DE RADIOTERAPIA.

Das pesquisas sobre a natureza fundamental da ação biológica da radiação, que prossegue até os dias atuais, emergiu um novo tipo de profissional, o radiobiologista. Ao mesmo tempo em que os raios X começavam a ser aplicados na área médica, o elemento natural rádio (Ra) foi descoberto, e se estabeleceu, também, a importância do fator tempo, como modificador da reação do tecido à radiação. Desta forma, surgiu a ciência da radioterapia, em seu início baseada, inteiramente, num enfoque empírico, ou seja, por dedução, e pela própria experiência adquirida com a sua utilização no dia-a-dia.

Constatou-se, também, que as radiações ionizantes produziam o efeito de aliviar a dor. Essa forma de tratamento foi utilizada, em seu período de desenvolvimento, principalmente, no tratamento de formas dolorosas de artrite, herpes-zoster, entre outras doenças.

À medida em que aumentaram os conhecimentos sobre os possíveis efeitos nocivos da radiação, muitas dessas aplicações foram descartadas, exceto em circunstâncias especiais e sob estrita supervisão médica.

Nas últimas décadas do século XX, a radioterapia passou a ser utilizada quase que, exclusivamente, no tratamento de doenças de câncer.

* * * * *

FIM DA 4ª PARTE

CAPÍTULO 10 – RADIOISÓTOPOS

10.1 – INTRODUÇÃO

Um radioisótopo ou isótopo radioativo se caracteriza por apresentar um núcleo atômico instável, que emite energia quando se transforma num isótopo mais estável. A energia liberada na transformação pode ser detectada por um contador Geiger, com uma película fotográfica ou com uma câmera de ionização.



CONTADOR GEIGER PORTÁTIL PARA MEDIR NÍVEIS DE RADIAÇÃO IONIZANTE.

Os radioisótopos têm aplicações práticas na área médica e, em outras áreas, como na datação radiométrica. O isótopo radioativo tálio (Tl), por exemplo, pode identificar em pacientes, vasos sanguíneos bloqueados, sem provocar qualquer tipo de dano ao mesmo. O carbono-14 (C-14) pode ser utilizado na datação de fósseis e materiais antigos, como vimos anteriormente. Um isótopo radioativo pode ser natural ou sintético (artificial).

Os radioisótopos emitem raios gama (γ). Eles são produzidos por reator nuclear (iodo-131), por ciclotron (flúor-18) para Tomografia Computadorizada por Emissão de Pósitrons (PET), ou por gerador de radioisótopos (Tecnécio-99m), sendo este último apresentado na figura abaixo:



LABORATÓRIO PARA PRODUÇÃO DE RADIOISÓTOPOS OU RADIOFÁRMACOS UTILIZADOS EM RADIOTERAPIA.

A tecnologia utilizada na formação da imagem radiográfica, na Tomografia Computadorizada por Emissão de Pósitrons (PET), envolve a detecção com uma densidade muito alta, de um feixe de raios gama (γ) que emana do isótopo

radioativo. O nível de radiação no corpo humano é muito baixo, o que resulta em uma pequena absorção de potássio (K) radioativo.



EQUIPAMENTO DE TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA POR EMISSÃO DE PÓSITRONS (PET).

10.2 – BENEFÍCIOS PELA UTILIZAÇÃO DE RADIOISÓTOPOS

A exposição de determinado paciente à uma radiação de raios gama (γ) é mínima. A realização de exames de Tomografia Computadorizada por Emissão de Pósitrons (PET), através desse método, é segura, indolor e invasiva, exceto pela administração do radioisótopo por via intravenosa.

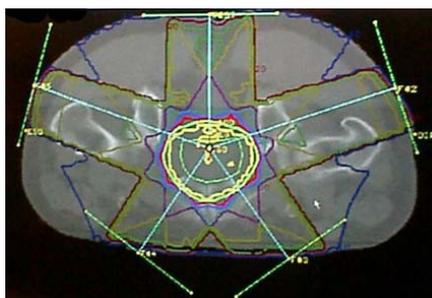


IMAGEM DE UM TUMOR CANCERÍGENO OBTIDA COM A UTILIZAÇÃO DE UM EQUIPAMENTO DE PET.

A realização de exames de Medicina Nuclear é muito mais segura e precisa, podendo detectar metástase (divisão/multiplicação) de células cancerígenas de seis a doze meses antes, o que seria impossível detectar através de outros exames de radiodiagnóstico mais simples.



SALA E EQUIPAMENTO DE RADIOTERAPIA.

10.3 – RISCOS PELA UTILIZAÇÃO DE RADIOISÓTOPOS

Primeiro: pode ocorrer toxicidade, porém, a possibilidade é mínima. Segundo: pode ocorrer o surgimento de hematoma ou infecção no local da injeção intravenosa. Terceiro: pode haver possibilidade de ocorrer erupções, exantema, prurido, constrição da garganta, dispnéia, bronco-espasmos e anafilaxia.

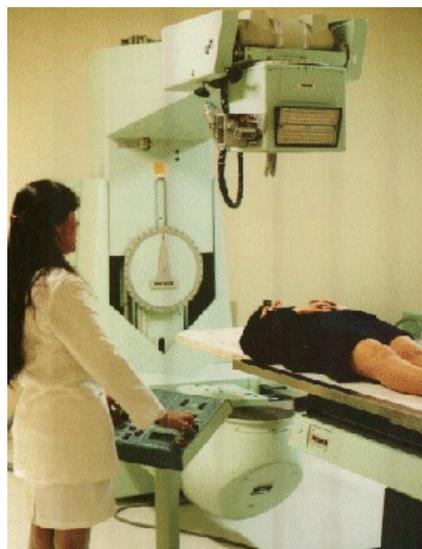
10.4 – EFEITOS BIOLÓGICOS

Qualquer radiação do tipo ionizante, quando aplicada em excesso, causa efeitos extremamente nocivos à vida biológica. Os efeitos biológicos, causados pela irradiação prolongada, no corpo humano, são avaliados segundo o fator de gravidade da radiação.



PACIENTE SENDO SUBMETIDO A UM EXAME DE TOMAGRAFIA COMPUTADORIZADA (TC) CONVENCIONAL.

O limite aceitável de radioatividade para o corpo humano é de, aproximadamente, 0,5 Rem por semana. A tolerância de radioatividade varia entre os organismos vivos, e cada um suporta uma carga diferenciada; vale lembrar que uma dose elevada causa graves lesões, até mesmo a morte, ao mesmo tempo, essa mesma dose pode eliminar neoplasias (tumores), células cancerosas e salvar vidas.



PACIENTE SENDO SUBMETIDO A UM TRATAMENTO DE RADIOTERAPIA.

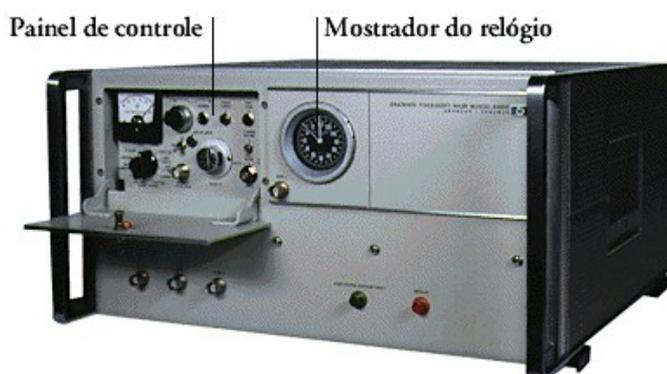
Os efeitos causados por radiações radioativas, são o resultado de alteração na estrutura de determinadas moléculas, que desempenham papel essencial no organismo do ser vivo, principalmente, nas moléculas de DNA, como vimos anteriormente.

As radiações radioativas podem modificar essas moléculas, de modo direto, alterando, por exemplo, o código genético do ser vivo (DNA), de tal forma que as células sexuais se tornem portadoras de mutações. Desta forma, elas também são utilizadas no melhoramento genético de vegetais (plantas), como por exemplo, na produção de caracteres desejáveis para determinada espécie de vegetal, na conservação de alimentos por um período de tempo mais longo, entre outros.

10.5 – APLICAÇÕES DA RADIOATIVIDADE

A radioatividade tem três áreas de aplicação para fins distintos. São elas: (1) Área Médica: utilização em tratamentos de tumores malignos, em diversas doenças e em tecidos em geral; (2) Área Industrial: utilização na obtenção de energia nuclear, mediante procedimentos de ruptura de átomos pesados; e (3) Área Científica: utilização em mecanismos de bombardeamento de átomos e aceleração de partículas, como meios de aperfeiçoar o conhecimento sobre a estrutura da matéria, nos níveis de organização subatômica, atômica e molecular.

Materiais radioativos são utilizados, também, na fabricação de substâncias fluorescentes, de relógios científicos (relógios atômicos) como o apresentado na figura abaixo, entre outros.



RELÓGIO CIENTÍFICO OU RELÓGIO ATÔMICO PARA MARCAR O TEMPO COM EXTREMA PRECISÃO.

* * * * *

CAPÍTULO 11 – BIOFÍSICA DAS RADIAÇÕES

11.1 – INTRODUÇÃO

Primeiramente, temos que conceituar e classificar as radiações. Podemos dizer que radiação é a transmissão de energia de um sistema para outro, por meio de ondas eletromagnéticas, tais como: calor radiante, luz visível, raios infravermelhos, raios ultravioletas, raios X, partículas alfa (α), partículas beta (β), raios gama (γ), ultra-som, ressonância magnética, entre outras.

As radiações podem ser classificadas como: (1) ionizantes, como as partículas alfa (α), as partículas beta (β), os raios gama (γ) os raios X; parte dos raios ultravioletas ou (2) não-ionizantes, como o calor radiante, a luz visível, os raios infravermelhos, parte dos raios ultravioletas, o ultra-som, a ressonância magnética, entre outras.

As radiações ionizantes são aquelas cujos fótons ou partículas, produzem íons na matéria com a qual interagem, ou seja, ionizam os átomos que constituem o meio através do qual se propagam. Por causa dessa ionização, essas radiações podem produzir danos nas células vivas e, por isso, o seu estudo é relevante para a Biologia e a Medicina.

11.2 – EXPOSIÇÃO ÀS RADIAÇÕES NUCLEARES

Muito do que se sabe sobre os efeitos biológicos das radiações, tem sido desenvolvido em estudos com microorganismos, com cultura de tecidos e com animais de experimentação. Todavia, vários acidentes envolvendo instalações nucleares, permitiram que fossem aprofundados os conhecimentos sobre os efeitos das radiações ionizantes, sobre os seres humanos. Além dos acidentes radioativos, já ocorridos, muitos indivíduos têm sido vítimas da manipulação inadequada de radionuclídeos. Observemos as figuras abaixo:



(A)



(B)

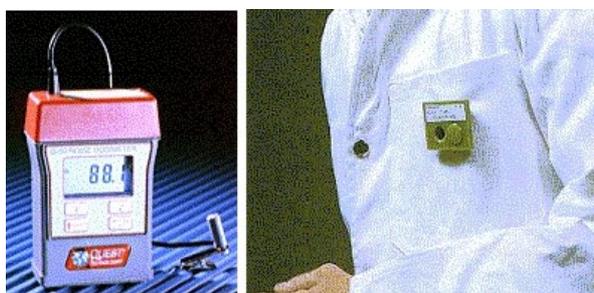
NA FIGURA (A) É APRESENTADO A MÃO DIREITA DE UM RADIOLOGISTA, APÓS UM LONGO PERÍODO DE TEMPO SENDO EXPOSTO A RADIAÇÃO IONIZANTE. NA FIGURA (B) É APRESENTADO UM FERIMENTO NA REGIÃO DORSAL DE UM RADIOLOGISTA, TAMBÉM EXPOSTO POR UM LONGO PERÍODO DE TEMPO A RADIAÇÃO IONIZANTE.

11.3 – CONCEITO DE DOSE ABSORVIDA

Quando um corpo biológico, ou seja, um corpo com vida orgânica, é exposto à determinada radiação, ele absorve uma certa quantidade de energia dessa radiação; a quantidade de energia absorvida pelos tecidos é chamada de dose absorvida. Quanto maior for a dose absorvida, maiores serão as chances para que apareçam danos provocados pela radiação.

O nome do instrumento que é utilizado para medir o nível de radiação, ao qual um profissional radiologista está exposto, é chamado de dosímetro.

Existem dois modelos de dosímetro para uso individual, que medem o nível de radiação recebido por parte do profissional, de forma individual, sendo apresentados na figura abaixo:



MODELOS DE DOSÍMETRO DE USO INDIVIDUAL.

Existem modelos de dosímetro para utilização ambiental, que medem o nível de radiação recebido por parte do ambiente, de forma coletiva, sendo apresentado na figura abaixo:



MODELO DE DOSÍMETRO DE UTILIZAÇÃO AMBIENTAL.

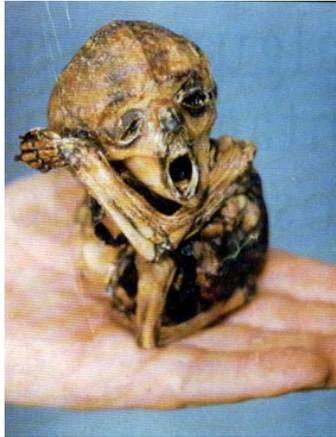
11.4 – TIPOS DE EFEITO PRODUZIDOS POR RADIAÇÃO IONIZANTE

Para produzir efeitos sobre um organismo vivo, as radiações ionizantes podem agir, direta ou indiretamente, sobre uma molécula alvo.

Os efeitos diretos são produzidos quando a energia da radiação é absorvida, diretamente, por moléculas que são importantes, nos diversos metabolismos das células. Entre tais moléculas estão as enzimas e o DNA.

Os efeitos indiretos resultam na forma de radicais livres, geralmente, modificando moléculas de água, que constituem os meios intracelular e extracelular.

Os efeitos biológicos provocados pelas radiações ionizantes podem ser somáticos, quando se manifestam no próprio indivíduo irradiado, ou então, podem ser genéticos, quando se manifestam nos seus descendentes, conforme o caso apresentado na figura abaixo:



EFEITO BIOLÓGICO DO TIPO GENÉTICO CAUSADO PELA EXPOSIÇÃO DE UM INDIVÍDUO DO SEXO FEMININO À RADIAÇÕES IONIZANTES, NESTE CASO EM PARTICULAR, À ENERGIA NUCLEAR.

11.5 – DOSE LIMINAR E DOSE SUBLETAL

Dose liminar é aquela abaixo da qual não podem ser detectadas alterações no funcionamento e no comportamento de um determinado organismo vivo, ou seja, ser vivo. Observemos a tabela abaixo:

Esse é um conceito teórico, pois, qualquer que seja a dose absorvida, haverá sempre a constituição de um radioproduto, e este, por sua vez, pode produzir uma radiolesão, por isso, tem sido utilizado o conceito de dose subletal. A dose subletal é definida como sendo a dose que não causa a morte celular, independentemente de produzir ou não outros efeitos biológicos.

11.6 – RADIOSENSIBILIDADE E MECANISMOS CELULARES DE DEFESA

Os radicais livres, por serem muito reativos, sofrem combinações no mesmo local em que são constituídos.

As alterações produzidas no DNA, no RNA ou em moléculas que controlam a síntese protéica, produzem efeitos mais graves do que aquelas que se passam, diretamente, nas enzimas já constituídas, ou em moléculas que atuam como fatores intermediários, nos diversos metabolismos celulares.

11.7 – SISTEMAS BIOLÓGICOS DE DEFESA

As células vivas possuem mecanismos de defesa contra os efeitos deletérios das radiações ionizantes. A catalase, a superóxido dismutase e as peroxidases, são enzimas que atuam defendendo o organismo vivo. Os radicais peróxidos são destruídos pela catalase e pelas peroxidases, enquanto que, os superóxidos, são combatidos pela superóxido dismutase. Os antioxidantes naturais neutralizam a ação dos radicais livres.

Existem sistemas de reparação que atuam no DNA lesado por radiação ionizante. Quando há lesão no DNA, também podem ser alterados mecanismos que controlam a divisão celular.

11.8 – RADIOSENSIBILIDADE CELULAR E FATORES QUE A MODIFICAM

As células que apresentam grande atividade mitótica, capacidade de multiplicação por divisão celular, onde são mantidos o mesmo número de cromossomos da célula original, bem como aquelas mais indiferenciadas, são mais sensíveis à radiação ionizante. Por isso, o sistema hematopoético (sangüíneo) e o sistema reprodutivo, são os mais agredidos, durante a exposição às radiações ionizantes, do que o tecido nervoso e o parênquima (sistema de vasos) renal.

Devido à grande atividade meiótica, capacidade de multiplicação por divisão celular, onde são reduzidos à metade o número de cromossomos da célula original, e por serem mais sensíveis do que as células normais, as células neoplásicas, causadoras de tumores cancerosos, permitem que sejam utilizadas radiações ionizantes para o seu tratamento, ou seja, eliminação das mesma.

Fatores que contribuem para aumentar a radiosensibilidade dos tecidos biológicos: (1) pressão parcial do oxigênio no tecido; (2) temperatura do tecido; (3) atividade mitótica do tecido; (4) ausência ou bloqueio do sistema de restauração; (5) presença de compostos químicos sensibilizadores; e (6) exposição em dose única.

Alguns compostos químicos protegem as células contra os efeitos das radiações ionizantes, tais como: (1) substâncias dotadas de agrupamentos sulfidrilas; (2) seqüestradores de radicais livres; e (3) compostos químicos que reduzem a quantidade de oxigênio no meio celular.

A radiosensibilidade não é igual para todas as células, mas varia de acordo com a sua atividade metabólica e com fatores estruturais, inerentes a cada tipo de célula.

11.9 – EFEITOS SOMÁTICOS CAUSADOS PELAS RADIAÇÕES IONIZANTES

As radiações ionizantes são capazes de alterar, por ação direta ou indireta, as proteínas e os aminoácidos.

As proteínas podem sofrer inativação, em virtude da ruptura de ligações químicas, importantes para a estabilidade da sua estrutura.

Do ponto de vista macroscópico, os efeitos somáticos das radiações ionizantes podem ser classificados em: (1) imediatos, quando se manifestam nos primeiros dois meses da irradiação; e (2) tardios, quando se manifestam após dois meses da irradiação. Observemos a tabela abaixo:

MANIFESTAÇÕES CLÍNICAS EM INDIVÍDUOS IRRADIADOS

<i>Dose (Sv)</i>	<i>Achados clínicos e laboratoriais</i>
< 1	Indivíduo geralmente assintomático. Pequena diminuição dos leucócitos e das plaquetas detectável em algumas pessoas, principalmente se valores controle obtidos antes da irradiação forem conhecidos.
1-2	Náuseas, vômitos e diarreia. Há alterações hematológicas na maioria dos irradiados. Os linfócitos sofrem diminuição de 50% dentro das 48 horas após a irradiação.
2-5	Grave lesão da medula óssea e dos linfáticos, que chegam a sofrer redução de 75%. Aproximadamente 50% dos indivíduos irradiados morrem se não forem tratados.
> 5	Síndrome aguda da radiação com complicações gastrointestinais que aparecem no intervalo de 2 semanas após a irradiação. Os indivíduos podem apresentar sangramentos diversos e a maioria deles morre.
> 50	Curso fulminante. Há complicações gastrointestinais, cardiovasculares e do SNC incontroláveis e a morte advém entre 24 e 72 horas após a irradiação.

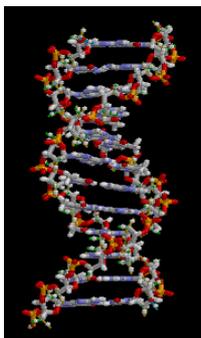
Fonte: Adaptado de Voelz, G., in Wald & Stave, 1994, p. 179

11.10 – EFEITOS GENÉTICOS CAUSADOS PELAS RADIAÇÕES IONIZANTES

Os tipos de radiolesões moleculares são efeitos genéticos, que aparecem em virtude de radiolesões no DNA. A interação de uma radiação ionizante com esta macromolécula pode produzir: (1) Danos em bases nitrogenadas do DNA, ocorrendo os seguintes fatores ⇒ (a) formação de sítios apúricos ou apirimídicos; (b) efeitos sobre purinas (adenina e guanina); e (c) efeitos sobre pirimidinas (timina e citosina); e (2) Ruptura nas ligações das cadeias polinucleotídicas e ligações cruzadas intramoleculares e intermoleculares.

A ruptura nas ligações das cadeias polinucleotídicas é uma lesão no DNA, provocada por radiação ionizante, que se apresenta, muitas vezes, como uma ruptura de uma ou de ambas as hélices dessas macromoléculas.

Além de provocar ruptura nas ligações das cadeias polinucleotídicas, as radiações ionizantes podem promover a formação de ligações anormais entre as partes de uma molécula, ou mesmo, entre moléculas diferentes, como no caso de DNA e de proteínas.

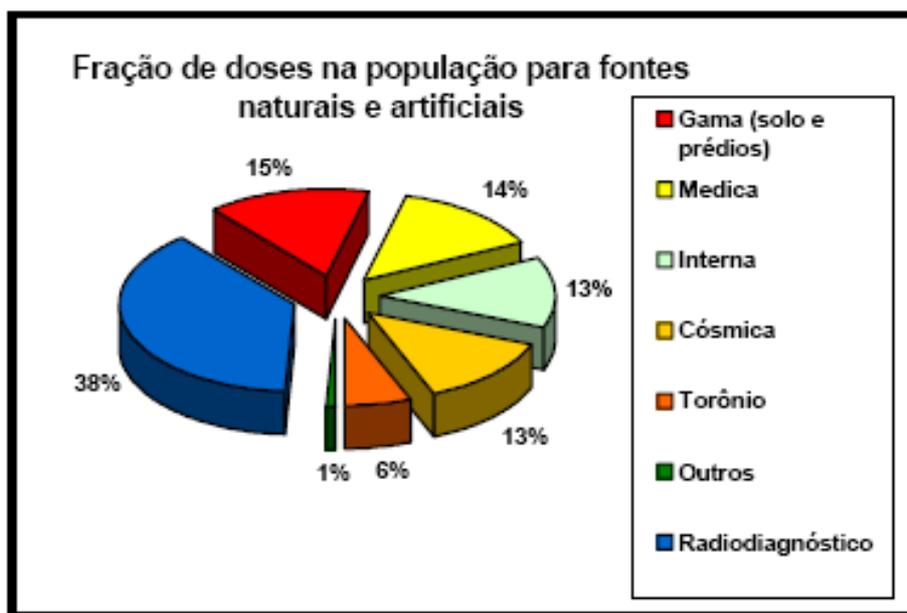


MOLÉCULA DE DNA.

Quando o DNA é irradiado, além das rupturas nas ligações das cadeias polinucleotídicas e da quebra de pontes de hidrogênio, podem ser formados dímeros de timina. Quando isso ocorre, a restituição ao estado primitivo do DNA se faz com o auxílio de um complexo e adequado sistema enzimático, capaz de reconhecer e excluir (DNA endonuclease) da região do DNA, onde se formou o dímero de timina.

11.11 – EFEITOS ESTOCÁTICOS E NÃO-ESTOCÁTICOS

Entre os efeitos estocáticos estão aqueles que se manifestam tardiamente. Os efeitos tardios se manifestam através de mutações, porém, muitas das vezes, aparecem sobre a forma de tumores malignos. A probabilidade de ocorrência desses efeitos se eleva, com o aumento da dose de radiação ionizante absorvida, pelo ser vivo irradiado. Observemos os dois gráficos abaixo:





Uma dose é considerada letal para determinada espécie de ser vivo, quando corresponde a uma quantidade de radiação ionizante capaz de matar, em 30 dias, 50% de uma população de sua mesma espécie. Observemos a tabela abaixo:

TABELA DE DOSE LETAL DE RADIAÇÃO PARA ALGUNS ANIMAIS

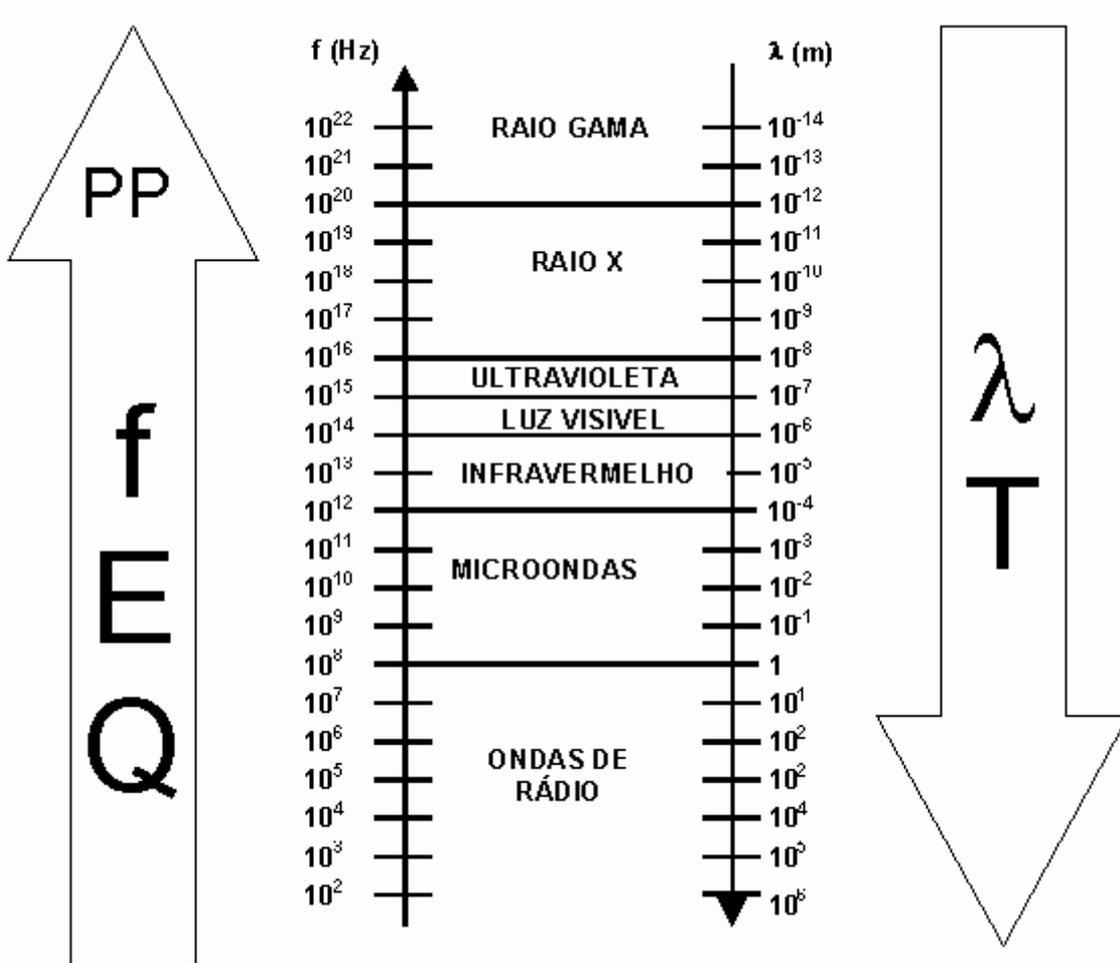
<i>Animal</i>	<i>LD_{50 (30)} (rad)</i>
Carneiro	155
Burro	155
Porco	195
Sagüi	200
Bode	230
Homem	225-270
Cão	265-350
Cobaia	255-400
Camundongo	900
Macaco	398-600
Galinha	600
Sapo	700
Hamster	900
Rato	900
Coelho	840
Pardal	800
Tartaruga	1.500
Peixe dourado	2.300
<hr/>	
Gerbilo (roedores do gênero Gerbillus)	10.590
Rato do deserto	15.200

Fonte: Adaptado de Casarett (1968) por Gomes, R.A., *in* Rocha, 1976, p. 87; Bond (1969), *in* Knoche, 1991, p. 321

O acúmulo de dados sobre os efeitos biológicos das radiações ionizantes, tem levado à verificação de que doses muito menores do que as que estavam estabelecidas no passado, são suficientes para produzirem radiolesões severas em seres vivos.

Os efeitos não-estocásticos, diferentemente (oposto) dos efeitos estocásticos, se manifestam no paciente imediatamente após a sua exposição (irradiação) à uma radiação ionizante.

ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO



CONCLUSÃO

A formação técnica e científica dos profissionais de saúde que devem atuar na área das ciências médicas, não pode prescindir dos conhecimentos sobre as radiações, sejam elas de que natureza forem, sobre o seu efeito em seres vivos e qual deve ser a proteção utilizada contra elas. O acidente nuclear ocorrido na cidade de Goiânia, no estado de Goiás, no Brasil, foi um exemplo e uma advertência para todos nós.

* * * * *

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, Carlos. *Física e química: primeiro grau*. 34 ed. São Paulo: Ática, 1991.
- CORREIA, Sérgio Ricardo da Silveira. *Correa. Ouvinte consciente: arte musical*. 7 ed. São Paulo: Editora do Brasil, 1975.
- ELBERN, Alwin. Rio Grande do Sul: Editora UFRGS/DENUC, 2005. – (Apostila)
- ERIK. *Química*. Rio de Janeiro: Editora da SUAM, 1975. – (Apostila)
- FISCHBACH, Francês. *Manual de enfermagem: exames laboratoriais e diagnósticos*. 6 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002.
- GARCIA, Eduardo A. C.. *Biofísica*. São Paulo: Sarvier, 1997.
- MONTANARI, Valdir. *Viagem ao interior da matéria*. São Paulo: Atual, 1993. – (Projeto Ciência)
- Nova Enciclopédia Barsa. v. 12. 6 ed. São Paulo: Barsa Planeta Internacional, 2002.
- OKUNO, Emico e outros. *Física para ciências biológicas e biomédicas*. São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1982.
- Página Eletrônica: “<http://br.geocities.com/saladefisica>” – (Janeiro, 2007)
- Página Eletrônica: “<http://pt.wikipedia.org>” – (Dezembro, 2006)
- Página Eletrônica: “<http://www.cnen.gov.br>” – (Março, 2007)
- Página Eletrônica: “<http://www.feiradeciencias.com.br>” – (Dezembro, 2006)
- Página Eletrônica: “<http://www.radiobot.com.br>” – (Março, 2007)
- Página Eletrônica: “<http://www.radiohaus.com.br>” – (Fevereiro, 2007)
- Página Eletrônica: “<http://www.segurancaetrabalho.com.br>” – (Janeiro, 2007)

* * * * *

ENDEREÇO PARA CORRESPONDÊNCIA

CARLOS ASSIS

RUA CONSELHEIRO ZACARIAS, 67
SAUDE – RIO DE JANEIRO – RJ – BRASIL
CEP 20220-470 TEL.: (21) 2263-2303

E-mail: carloscenipec@yahoo.com.br

Site: <http://www.cenipec.com.br>

FIM DA 5ª PARTE