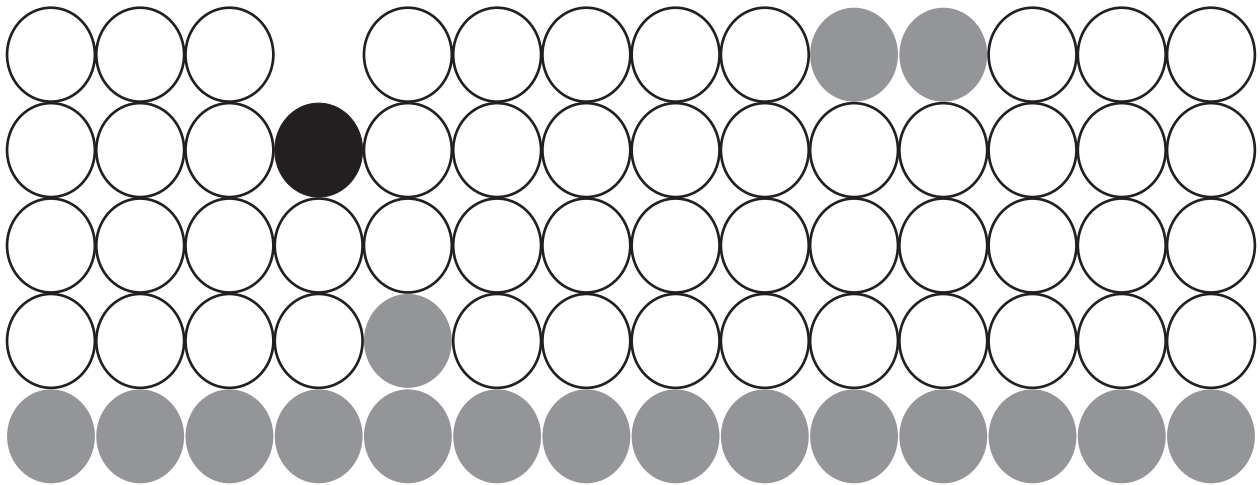


TEXTOS DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA

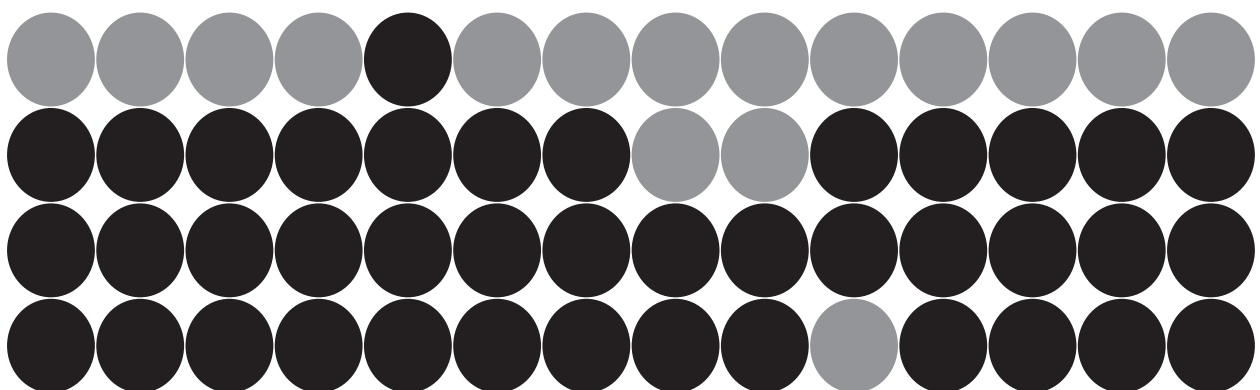
v.24 n.3 2013

ISSN 1807-2763



A FÍSICA DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS EM ELETROTERMOTERAPIA

Alexandre Novicki



Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Textos de Apoio ao Professor de Física, v.24 n.3, 2013.
Instituto de Física – UFRGS
Programa de Pós – Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

Editores: Marco Antonio Moreira
Eliane Angela Veit

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Setor de Processamento Técnico
Biblioteca Professora Ruth de Souza Schneider
Instituto de Física/UFRGS

N943f Novicki, Alexandre

A física dos equipamentos utilizados em
eletrotermofototerapia / Alexandre Novicki – Porto Alegre:
UFRGS, Instituto de Física, 2013.

77 p.; il. (Textos de apoio ao professor de física / Marco
Antonio Moreira, Eliane Angela Veit, ISSN 1807-2763; v. 24 ,
n.3)

1. Ensino de Física 2. Termometria 3. Laser 4. Ultrassom
I. Título II. Série.

PACS: 01.40.E

Impressão: Waldomiro da Silva Olivo
Intercalação: João Batista C. da Silva

A FÍSICA DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS EM
ELETROTHERMOFOTOTERAPIA

Alexandre Novicki

SUMÁRIO

SUMÁRIO	5
1. APRESENTAÇÃO	7
2 TEXTOS DE APOIO	9
2.1 ENERGIA E TERMOMETRIA.....	9
2.2 ONDAS	21
RAIOS X	30
2.3 ELETRICIDADE	37
3 EQUIPAMENTOS DE ELETROTHERMOTERAPIA	47
3.1 LÂMPADA DE INFRAVERMELHO.....	47
3.2 LASER	49
3.3 ULTRASSOM.....	53
3.4 ELETROESTIMULADORES	59
3.6 ELETROANALGESIA.....	61
4. ATIVIDADES EXPLORATÓRIAS VIRTUAIS	65
4.1 APPLET SOBRE ESTADOS FÍSICOS E MUDANÇAS DE ESTADO	65
4.2 APPLET SOBRE ONDAS.....	67
4.3 APPLET SOBRE ULTRASSOM	69
4.4 APPLET SOBRE CORRENTE ELÉTRICA.....	71
REFERÊNCIAS	73

1. APRESENTAÇÃO

O presente texto é produto de um trabalho de conclusão do Mestrado Profissional em Ensino de Física, realizado por Alexandre Novicki, sob orientação da Prof^a. Dr^a. Sandra Denise Prado do Instituto de Física da UFRGS.

Nesse texto, apresentamos o material didático desenvolvido para o ensino da disciplina de Biofísica para o Curso de Fisioterapia, tendo como instrumento motivador os aparelhos operados em Eletrotermofototerapia¹, como o Laser e o Ultrassom, por exemplo, e como base, os princípios físicos que permitem o uso e operação destes aparelhos.

A proposta foi motivada pela constatação de que os futuros fisioterapeutas, em geral, não demonstram muito interesse pela disciplina de Biofísica, tendo na maioria dos casos certa repulsa e negação pela disciplina, muito embora, seja de extrema importância para a compreensão dos fenômenos físicos e de interação dos aparelhos utilizados em eletrotermofototerapia com tecidos vivos.

A proposta foi construída sob o foco de três temáticas: termometria, ondas e eletricidade, e o tempo para o desenvolvimento de cada tema foi de, aproximadamente, duas semanas ou oito horas-aula. As atividades referentes a cada assunto foram divididas em três momentos distintos:

1) O primeiro momento consistiu na exploração dirigida de uma animação computacional que antecedeu a aula sobre o assunto. Como atividade investigativa preparatória para a aula, o aluno deveria manipular um software ou uma simulação virtual, seguindo um roteiro exploratório para responder algumas questões relevantes sobre o tema a ser visto na aula. O intuito de dirigir a exploração do objeto virtual tem como objetivo, questionar as concepções alternativas verificadas no pré-teste, além de permitir que o aluno recupere conceitos já abordados no Ensino Médio.

2) A abordagem efetiva dos assuntos ocorreu em um segundo momento com a utilização do material de apoio desenvolvido, em apresentações do PowerPoint® e discussão das atividades sobre os objetos virtuais de aprendizagem.

3) Ao terceiro momento coube a apresentação e demonstração em sala de aula do equipamento de Eletrotermofototerapia que utiliza os conhecimentos previamente trabalhados.

Como professor dessa disciplina, compartilho minha experiência sobre a dificuldade inicial para a elaboração de material didático, bem como de uma metodologia para ministrar a disciplina. Na literatura não encontramos muitos livros de Biofísica, especificamente desenhados para cursos de Fisioterapia. Os tópicos precisam ser buscados em diversos livros-textos, os quais, normalmente, não

¹ A eletrotermofototerapia consiste em uma modalidade de terapia física que utiliza a corrente elétrica (eletroterapia), o calor (termoterapia) e a luz (fototerapia), como agentes terapêuticos (Agne, 2004).

abordam aspectos e conceitos gerais da física na área da saúde. Dada essa prerrogativa, a questão central que motivou esse trabalho é como ensinar Biofísica não dando uma aula tradicional de Física.

Vale ainda ressaltar que os textos de apoio e as atividades exploratórias de simulações virtuais aqui apresentadas, poderão vir a auxiliar outros professores que atuam na disciplina de Biofísica para Fisioterapia e que trabalhem com a prerrogativa de ensinar Biofísica, indo além do que se costuma rotular como “mais uma aula tradicional de Física”.

2 TEXTOS DE APOIO

2.1 ENERGIA E TERMOMETRIA

Conservação da energia

A energia existe sob diferentes formas: mecânica (cinética e potencial), elétrica, térmica, luminosa, sonora e química entre outras. Sempre que analisamos um sistema em que um tipo de energia diminui, certamente outro tipo aumentará. Trata-se do *princípio de conservação da energia*: a energia é uma grandeza que pode ser convertida ou transformada de uma forma em outra, mas nunca criada nem destruída. A figura 1 mostra diferentes transformações de energia que utilizamos atualmente.

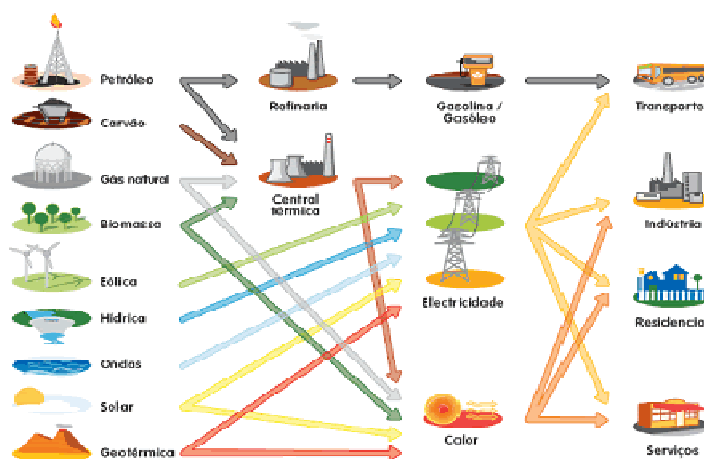


Figura 1: Fontes de energia.
 Fonte: <http://proponhoumatese.blogspot.com/p/energia-espiritual.html>

No caso da Fisioterapia, em particular, temos também como válido o princípio da conservação da energia. Para exemplificar podemos citar alguns equipamentos utilizados em Eletrotermofototerapia:

Ultrassom	energia elétrica → energia sonora
Infravermelho	energia elétrica → energia térmica
FES	energia elétrica → energia térmica
Laser	energia elétrica → energia luminosa

Segundo Agne (2004), o termo eletroterapia é utilizado para designar de maneira genérica a eletroterapia (corrente Russa, T.E.N.S, F.E.S, interferencial vetorial) propriamente dita, como também, a fototerapia (laser) e a termoterapia (ultrassom e infravermelho)

Energia térmica

Assim como a energia cinética está associada à velocidade de um corpo, a energia térmica está associada a sua temperatura. Desse modo, torna-se necessário uma discussão em torno do conceito de temperatura.

As moléculas constituintes da matéria estão sempre em movimento (inclusive no estado sólido) em torno de suas posições de equilíbrio. A esse movimento vibratório das moléculas denominamos *agitação térmica*. Observa-se que quando um corpo recebe energia na forma de calor, ocorre um aumento na agitação de suas moléculas, assim como quando um corpo perde ou cede calor ocorre uma redução na agitação molecular.

A figura 2 mostra os estados de agregação da matéria. No estado sólido fig. (2.c), as forças de coesão (forças de interação entre moléculas de uma mesma substância) são intensas, permitindo somente uma vibração molecular em torno de uma posição de equilíbrio formando uma rede cristalina. No estado líquido fig. (2.b) a agitação molecular é mais intensa fazendo com que a distância entre as moléculas seja geralmente maior e as forças de coesão agora reduzidas, ainda mantêm certa interação entre as moléculas, permitindo somente que umas deslizem sobre as outras (viscosidade). No estado gasoso fig. (2.a) a agitação molecular é intensa e as forças de coesão estão reduzidas a ponto de permitir um movimento praticamente livre das moléculas.

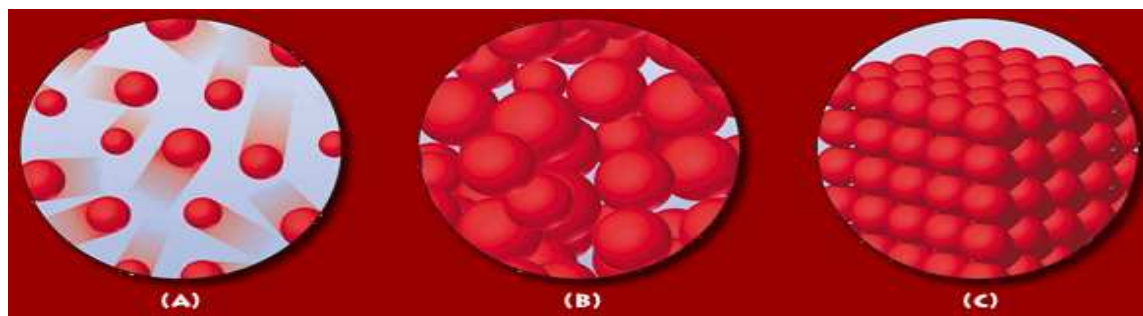


Figura 2: Estados de agregação das moléculas. Em (a) estado gasoso, (b) estado líquido e (c) estado sólido.
Fonte: http://www.qmc.ufsc.br/quimica/pages/aulas/gas_page1.html

É possível observar as diferenças entre as interações moleculares nos três estados físicos, a partir da atividade de simulação computacional proposta no início da aula.

Podemos, de certa forma, dizer que ao fornecermos gradativamente calor a um corpo mantendo a pressão constante, ocorre um aumento de agitação molecular e, conseqüentemente, uma mudança no seu estado de agregação molecular. É o que definimos como ponto de fusão e ebulição para uma determinada temperatura. Desse modo, podemos afirmar que *temperatura é uma grandeza associada ao grau de agitação molecular*.

Imagine agora o que ocorre quando dois corpos com temperaturas diferentes são colocados em contato. Observa-se que o corpo de maior temperatura esfria, enquanto que o corpo de menor temperatura aquece até o momento em que ambos atingem a mesma temperatura. Neste momento dizemos que os corpos atingiram o equilíbrio térmico, ou seja, a mesma temperatura.

Lei Zero

A lei zero da termodinâmica estabelece as condições de equilíbrio térmico entre corpos. Se dois corpos estão em equilíbrio térmico com um terceiro, então todos estão em equilíbrio térmico entre si (fig. 3).

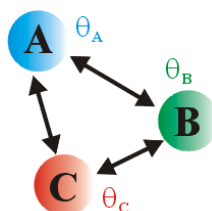


Figura 3: Corpos em equilíbrio térmico
Fonte: www.apice.coop.br

$$\text{Se } T_A = T_C \text{ e } T_B = T_C, \text{ então, } T_A = T_B$$

É através da lei zero que podemos medir a temperatura de um corpo utilizando um termômetro, por exemplo. Quando colocamos o termômetro em contato com o corpo, esperamos certo tempo para que o termômetro atinja o equilíbrio térmico com o corpo. Assim, podemos afirmar que, na verdade, estamos obtendo a temperatura de equilíbrio térmico entre o termômetro e o corpo.

Termômetros

São aparelhos destinados a medir temperatura. No entanto, como visto anteriormente, a temperatura é uma grandeza associada à agitação molecular. Então, como é possível um termômetro medir a agitação molecular?

Na verdade, não podemos medir a agitação molecular, mas podemos utilizar certas propriedades dos materiais que variam com a temperatura, por exemplo, o volume de um líquido ou gás, as dimensões de um sólido ou a resistência elétrica de um condutor. A figura (4.a) apresenta termômetros que se utilizam do fato da agitação molecular ocasionar um aumento nas dimensões de um corpo (dilatação térmica), a figura (4.b) apresenta um termômetro digital que tem seu funcionamento baseado na variação da resistência elétrica de um condutor com a variação da temperatura e a figura (4.c) apresenta um termômetro que utiliza a variação de volume de um líquido como propriedade termométrica.

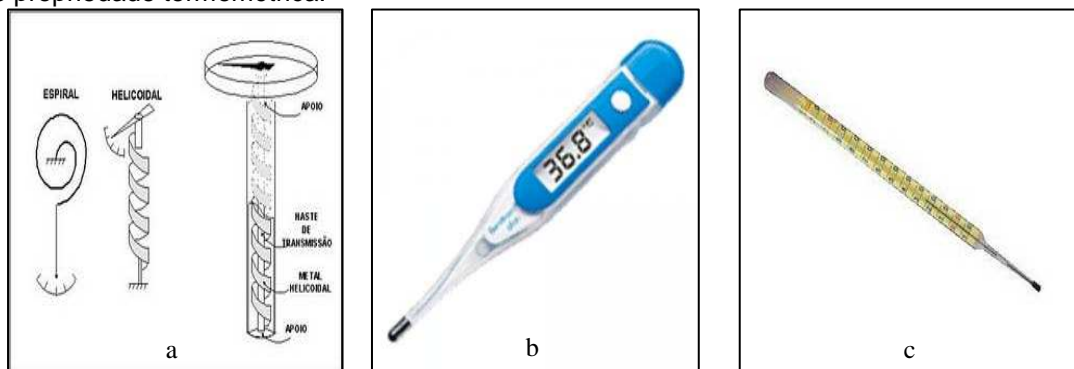


Figura 4: Diferentes tipos de termômetros em função de propriedades termométricas.
Fonte: <http://ansnafisica.blogspot.com/2009/03/termometros.html>

Um tipo de termômetro muito utilizado na área da saúde que utiliza a dilatação de um líquido (mercúrio) como propriedade termométrica e que apresenta características interessantes no seu funcionamento é o termômetro clínico representado na figura (5).



Figura 5: Termômetro clínico.
Fonte: <http://tareafacilmc.blog.com/fisica>

Segundo Garcia (2002) a escala deste termômetro é restrita a um intervalo reduzido, próximo a temperatura corporal normal de 31°C a 41°C, apresenta um estrangulamento que permite que o líquido após atingir um determinado nível não retorne, e por fim, uma lente que permite uma melhor visualização da coluna de mercúrio, já que o filete de líquido é extremamente estreito, para permitir uma maior sensibilidade.

Escalas de temperatura

No decorrer dos tempos, muitas foram as tentativas de se medir e expressar temperaturas. As escalas dos termômetros primitivos adotavam como temperatura mais elevada a temperatura do corpo humano e a mais baixa a da neve, sendo esse intervalo dividido em 12 partes iguais (Garcia, 2002).

Atualmente são mais comumente utilizadas três escalas de temperatura: Celsius (°C), Fahrenheit (°F) e Kelvin (K). A escala Celsius é adotada pela maioria dos países e como atribui 0°C e 100°C para os pontos de fusão do gelo e ebulição da água, respectivamente, torna-se uma escala de fácil representação. A escala Fahrenheit é utilizada por países que utilizam o sistema inglês de medida e possibilita medir temperaturas em regiões frias que na escala Celsius seriam representadas por valores negativos. A escala Kelvin é também denominada escala absoluta, pois o zero na escala Kelvin representa o zero absoluto, temperatura na qual cessa a agitação molecular, ou seja, na escala Kelvin o zero representa o zero mesmo.

Podemos estabelecer uma relação entre essas três escalas a partir dos pontos fixos a uma pressão de 1 atm. A figura (6) apresenta as três escalas citadas.

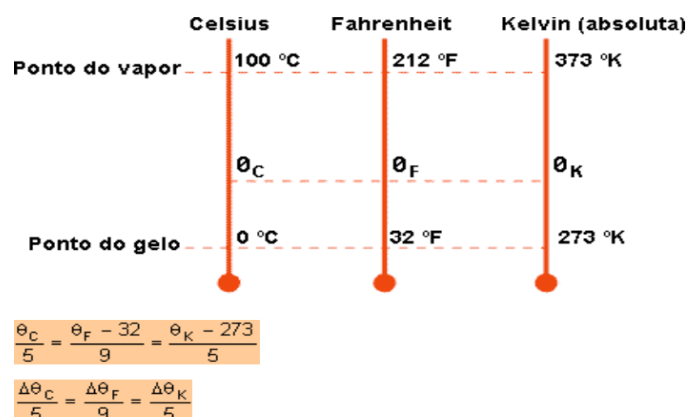


Figura 6: Escalas de termométricas com seus respectivos pontos fixos
 Fonte: <http://cienciasexataso.blogspot.com>

Calor

Quando um corpo recebe calor a agitação molecular aumenta e, conseqüentemente, sua temperatura também aumenta. Caso ocorra perda de calor, ocorre uma redução na agitação molecular e uma diminuição na temperatura. Dessa forma, podemos definir calor como *energia em trânsito que passa de um corpo para outro, devido a uma diferença de temperatura entre eles*. Uma ideia muito presente, mas errônea, é a de que os corpos possuem calor e que quanto maior a temperatura, maior a quantidade de calor acumulada. Na verdade, o calor é uma forma de energia de movimento, ou seja, só tem sentido falar em calor em quanto a energia térmica flui de um corpo a outro.

O calor como forma de energia somente foi compreendido a partir do século XIX com os trabalhos de Willian Thompson (Conde de Rumford), Joseph Mayer e James Prescott Joule. Antes disso, o calor era entendido como um fluido imponderável denominado calórico (Medeiros, 2009).

No sistema internacional de pesos e medidas, a unidade de calor é dada em Joule (J), porém, é muito comum a utilização da caloria (cal) em função do calórico, como unidade de energia térmica, principalmente na área da saúde.

Por definição 1 caloria (cal) é a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 1 g de água de 1°C no intervalo de 14,5°C a 15,5°C (Gaspar, 2001).

Joule estabeleceu o equivalente mecânico do calor, ou seja, a relação entre energia e calor. Assim:

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$$

No caso da quilocaloria (Kcal), vale a relação:

$$1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal}$$

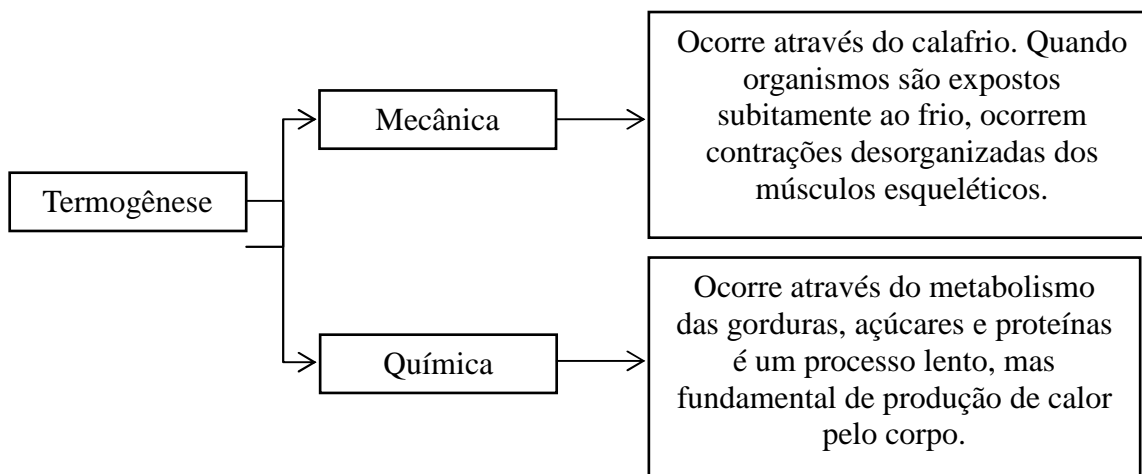
Existe ainda a British Termal Unit (BTU), unidade inglesa para calor. É muito utilizada em equipamentos e máquinas que envolvem energia térmica.

$$1 \text{ BTU} = 252, \text{ cal} = 1.055 \text{ J}$$

Trocas de calor corporal

De acordo com Garcia (2002), o homem como animal homeotermo tem a capacidade de controlar a própria temperatura e para isso utiliza-se de dois processos: Termogênese e Termólise.

Termogênese – processo de produção do calor pelo corpo.



Termólise – processos de dissipação de calor pelo corpo.

O corpo humano perde calor através dos seguintes processos:

- Vaporização
- Condução
- Convecção
- Radiação

Vaporização

É a passagem de uma substância do estado líquido para o gasoso. A vaporização pode ser realizada por ebulição, calefação e evaporação. No corpo humano a vaporização ocorre principalmente ao nível da pele e dos pulmões. A perda de calor por vaporização corresponde de 20% a 25% do calor total perdido pelo corpo. A cada grama de suor o corpo perde 0,58 kcal (Guyton, citado por Garcia, 2002).

Condução

A condução é a forma de transmissão do calor entre corpos quando existe contato entre eles. É o processo onde o calor passa de molécula para molécula através da agitação molecular figura (7). No corpo humano a condução ocorre pelo contato das roupas, na prática de esportes nos exercícios na água.

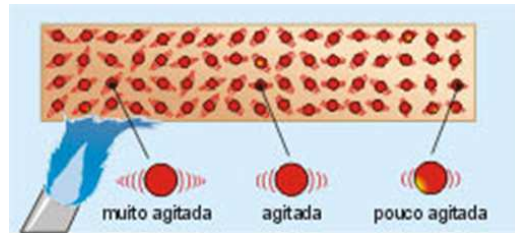
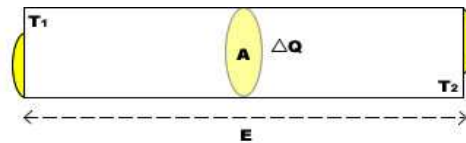


Figura 7: Transmissão do calor por condução
 Fonte: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br>

Quando o calor flui do corpo com maior para o de menor temperatura, dizemos que existe um *fluxo de calor* (Φ) (Gaspar, 2001) que depende da quantidade de calor que atravessa uma secção transversal em função do tempo figura (8).



$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{k \cdot A \cdot (T_1 - T_2)}{E} \longrightarrow \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \Phi$$

$$\Phi = \frac{k \cdot A \cdot (T_1 - T_2)}{E}$$

- ΔQ = quantidade de calor transmitida da região (1) para região (2)
- k = coeficiente de condutividade térmica (depende do material)
- A = área
- E = espessura
- T = temperatura
- Δt = intervalo de tempo

Figura 8: Fluxo de calor entre das regiões com temperaturas diferentes
 Fonte: http://revisaovirtual.com/site/Artigos_111_termologia

Um fato importante na condução do calor no interior dos tecidos vivos é a condutividade térmica dos mesmos. Diferentes tecidos corporais apresentam diferentes condutividades térmicas possibilitando, por exemplo, que o calor se espalhe muito mais rapidamente pelos ossos do que pelos músculos. Na tabela 1 apresentamos a condutividade térmica de diferentes materiais inclusive de tecidos vivos. Materiais com baixa condutividade térmica são denominados isolantes térmicos.

Tabela I: Condutividade térmica de substâncias e tecidos

Material	Condutividade térmica (Ks) (cal/m.s.°C)	Ks/Kar Condutividade térmica em função do ar
Ar	0,026	1,00
Madeira	0,2	7,69
Água	1,4	53,85
Vidro	2,6	100
Areia	93	3576
Alumínio	235	9038
Cobre	401	15423
Gordura	0,45	17,31
Pele	0,898	35,54
Sangue	1,31	50,38
Musculo	1,53	58,85
Osso	2,78	106,92

Fonte: Garcia, 2002 (adaptado)

Exemplo de aplicação de fluxo de calor

Em um determinado tratamento por ultrassom, aplica-se na perna de um paciente ultrassom contínuo a fim de se produzir uma elevação na temperatura local de 4°C. Considerando-se uma área de propagação para o calor tanto pelo músculo quanto pelo osso de 4 cm², determine o fluxo de calor pelo músculo e pelo osso, a 10 cm de distância da região de aplicação do ultrassom.

Resolução:

Osso

$$\phi = \frac{k \cdot a \cdot (t_q - t_f)}{e} = \frac{2,78 \text{ cal. } 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot (4^{\circ}\text{C})}{\text{m.s.}^{\circ}\text{C. } 0,1\text{m}} = 0,044 \text{ cal/s}$$

Músculo

$$\phi = \frac{k \cdot a \cdot (t_q - t_f)}{e} = \frac{1,53 \text{ cal. } 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot (4^{\circ}\text{C})}{\text{m.s.}^{\circ}\text{C. } 0,1\text{m}} = 0,024 \text{ cal/s}$$

Desse modo podemos observar que o fluxo de calor pelo osso é praticamente duas vezes maior que o fluxo de calor pelo músculo.

Convecção

A convecção é o processo de transmissão do calor que ocorre pelo movimento das massas de fluidos. Segundo Gaspar (2001), quando uma massa de gás ou líquido é aquecida, ocorre uma dilatação e aumento do volume que conseqüentemente reduz a densidade, possibilitando que pela diferença de densidades essa massa adquira um movimento ascendente. Caso ocorra um resfriamento, o volume diminui e a massa apresenta movimento descendente. A esse movimento de massas subindo ou descendo denominamos correntes de convecção. A figura (9) ilustra situações em que o calor se transmite por convecção.

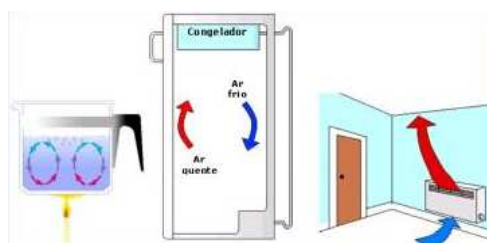


Figura 9: Convecção térmica
Fonte: www.oocities.org/br/saladefisica

As correntes de convecção são responsáveis por diversos fenômenos que observamos no dia-a-dia como o aquecimento de um líquido ou a refrigeração de um ambiente. No corpo humano, devido à dificuldade de medida, não consideramos as perdas por convecção (Garcia, 2002).

Radiação ou irradiação

A transmissão de energia por ondas eletromagnéticas é denominada radiação ou irradiação, sendo que quando a energia é transmitida por infravermelho temos então a irradiação térmica. Assim, a irradiação térmica é o processo de transmissão do calor através de ondas eletromagnéticas na faixa do infravermelho. É o processo mais importante de propagação do calor (Gaspar, 2001).

Podemos observar a irradiação térmica quando recebemos calor do sol, pois como sabemos entre a Terra e o Sol não existe matéria, somente o vácuo, visto que as ondas eletromagnéticas não necessitam obrigatoriamente de meio material de propagação, ou quando sentimos o calor de uma lâmpada incandescente quando colocamos a mão em suas proximidades sem tocá-la.

Quando a energia radiante incide na superfície de um corpo em parte é absorvida, aumentando assim a agitação molecular e, conseqüentemente, sua temperatura, e o restante é retransmitidos para o meio. Todos os corpos com temperaturas acima do zero absoluto trocam radiação na faixa do infravermelho com o meio e conforme podemos observar na figura² (10), quanto maior a diferença de temperatura entre a superfície e o meio, maior a quantidade de energia radiada.

² A imagem se constitui em um resultado empírico conhecido como lei de Stefan que expressa que existem picos de radiância espectral em função da temperatura.

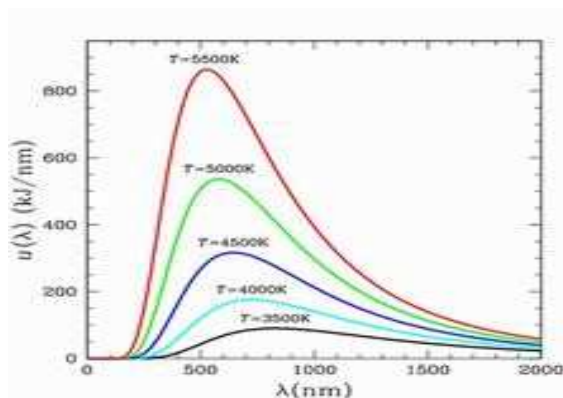


Figura 10: Emissividade em função da temperatura
 Fonte: <http://www.hgh.fr>

Dessa forma, todo corpo bom absorvedor de calor é também um bom emissor, enquanto que um corpo bom refletor é mau emissor. O *corpo negro* é um modelo idealizado de um emissor perfeito. Sendo um emissor perfeito, o corpo negro é também um absorvedor perfeito. Corpos negros são corpos cujas superfícies absorvem toda a radiação térmica incidente sobre eles (Eisberg, 1979).

No corpo humano, 60% da perda de calor ocorrem por irradiação térmica (Garcia, 2002) sendo o resfriamento corporal diretamente relacionado ao poder emissivo. O fluxo de calor para o meio exterior será tanto mais intenso quanto maior for a área do emissor e maior a diferença de temperatura entre o meio e o emissor. Isso explica porque em ambientes a baixas temperaturas, afirmamos sentir frio, quando na verdade, estamos emitindo uma quantidade maior de energia para o exterior.

A pele é o meio de radiação de calor utilizado pelo corpo. Segundo Garcia (Garcia, 2002), os estudos mostram que a pele humana, não importando sua cor, tem uma potência de radiação igual a 97% do corpo negro. Na figura (11) podemos observar a irradiação de calor pelo corpo humano com o auxílio de uma câmera de infravermelho. Regiões com maior temperatura como o tórax e a cabeça são mais irrigadas pelo sangue e conseqüentemente emitem mais radiação. Regiões escuras são pouco irrigadas e conseqüentemente emitem menos radiação.



Figura 11: Irradiação de calor pelo corpo humano
 Fonte: <http://komoissofunciona.blogspot.com>

Exemplo de aplicação

A pele de uma pessoa é um bom emissor, tendo emissividade próxima de 1. Considere então que a pele de uma pessoa tem área exposta de $0,27 \text{ m}^2$. Supondo que a temperatura da pele é de 37°C e o ambiente esteja a 27°C , determine:

- a) O poder emissivo da pele

$$E = e \cdot \sigma \cdot T^4$$

$$E = 15,67 \cdot 10^{-8} \cdot 310^4$$

$$E = 523 \text{ W/m}^2$$

- b) A potência líquida que a pele irradia para o ambiente

$$P = e \cdot \sigma \cdot T_p^4 \cdot a - e \cdot \sigma \cdot T_a^4 \cdot a$$

$$P = 15,67 \cdot 10^{-8} \cdot 310^4 \cdot 0,27 - 15,67 \cdot 10^{-8} \cdot 300^4 \cdot 0,27$$

$$P = 141,3 - 124 = 17,3 \text{ W}$$

A potência líquida estabelece uma relação entre o que o corpo emite de radiação e o que ele absorve do meio. Estamos constantemente emitindo radiação, porém estamos também absorvendo.

2. 2 ONDAS

Uma onda surge quando um sistema é perturbado de sua posição de equilíbrio e a perturbação se propaga de uma região a outra do sistema. Podemos citar como exemplo o lançamento de uma pedra sobre a superfície da água figura (1).



Figura 1: Ondas na superfície da água.
Fonte: //artemontanha.blogspot.com

É fácil observarmos que no ponto onde a pedra atinge a água ocorre um deslocamento do líquido, mas como a superfície do líquido tende a retornar a posição inicial, a perturbação tende a se afastar do ponto de impacto, formando uma sucessão de diversas perturbações concêntricas. *Cada uma das perturbações é denominada pulso e o movimento do pulso constitui uma onda.*

Podemos ainda observar o movimento de um corpo flutuante, nas proximidades do ponto onde a pedra atingiu a água. O corpo oscila verticalmente conforme os pulsos se propagam, porém não observamos um movimento no sentido de propagação da onda, o que nos leva a afirmar que em sua propagação ou deslocamento, uma onda transfere energia entre dois pontos, porém nunca transferindo matéria (fig. 2).

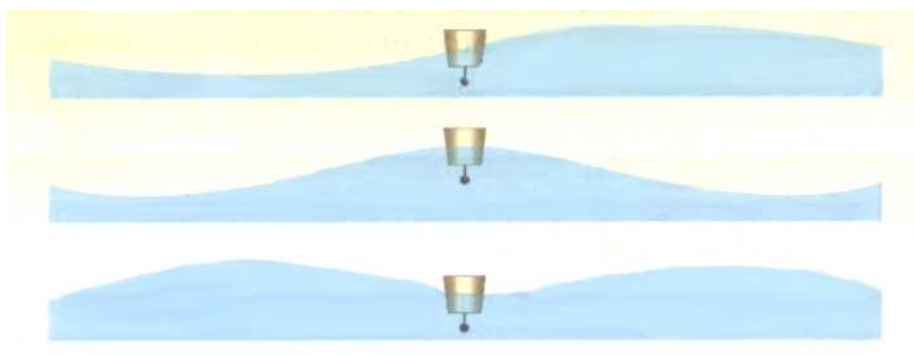


Figura 2: Oscilação vertical de um objeto devido a uma oscilação.
Fonte: <http://ww2.unime.it/weblab/awardarchivio/ondulatoria/ondas.htm>

As ondas podem ser classificadas de acordo com a direção de propagação da energia, quanto à direção de propagação e quanto à natureza.

Quanto à direção de propagação da energia:

Unidimensionais – propagam-se em uma única dimensão (fig. 3). Ex. ondas em cordas



Figura 3: Onda Unidimensional
Fonte: <http://davinci.if.ufrgs.br>

Bidimensionais – propagam-se em duas dimensões ou em um plano (fig. 4). Ex. as ondas na superfície dos líquidos.

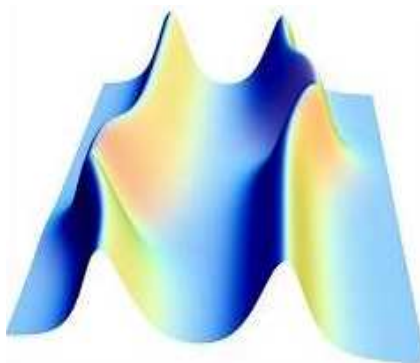
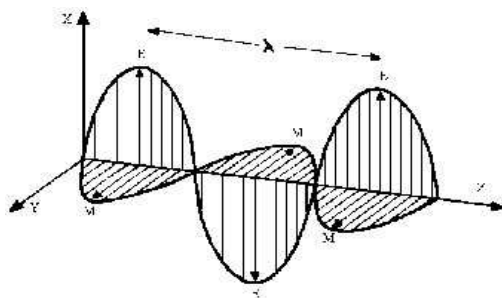


Figura 4: Ondas bidimensionais em líquidos
Fonte: <http://ciencias7.blogs.sapo.pt/5413.html>

Tridimensionais – propagam-se em todas as dimensões (fig. 5). Ex. ondas sonoras e ondas eletromagnéticas.



Fonte: <http://www.brasilecola.com/fisica>

Quanto à direção de propagação:

Ondas transversais – têm a direção de propagação perpendicular à direção de vibração (fig. 6) como, por exemplo, as ondas eletromagnéticas.



Nas ondas transversais, a propagação e a vibração são perpendiculares

Figura 6: Onda transversal
Fonte: <http://educacao.uol.com.br/fisica>

Ondas longitudinais – a direção de propagação é a mesma da direção de vibração (fig. 7). As ondas em líquidos e gases assim como o som são exemplos desse tipo de onda.

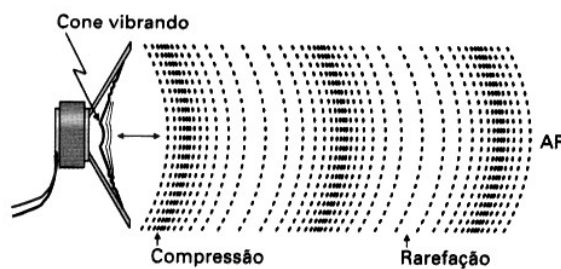


Figura 7: Onda Longitudinal
Fonte: <http://www.infoescola.com/fisica>

Quanto à natureza:

Ondas mecânicas

São ondas que necessitam obrigatoriamente de um meio material para se propagar, ou seja, transportam energia através da vibração das partículas do meio. A velocidade de propagação das ondas mecânicas depende exclusivamente das características do meio em que a onda se movimenta (fig. 8). Em geral a velocidade é maior nos líquidos que nos gases e maior nos sólidos que nos líquidos.



Figura 8: Velocidade do som
Fonte: <http://www.sobiologia.com.br>

Como exemplo de ondas mecânicas pode-se citar: o som, as ondas em cordas e na superfície de líquidos. Uma aplicação muito importante das ondas mecânicas em processos de terapia é o ultrassom (fig. 9), que se constitui em uma vibração mecânica acima da frequência audível.



Figura 9: Ultrassom terapêutico
Fonte: <http://pt.dreamstime.com>

Ondas eletromagnéticas

Segundo Young (2009), a partir dos trabalhos científicos de Coulomb, Ampère e Faraday, que estabeleceram os princípios da eletricidade, o físico escocês Maxwell desenvolveu na década de 1860 uma teoria na qual generalizou esses princípios.

A lei de Faraday nos ensina que a variação de um campo magnético produz um campo elétrico (Halliday, 1995). A figura (10) representa um esquema proposto por Faraday, ao movimentar-se o ímã próximo a um condutor, origina-se no condutor um campo elétrico que movimenta as cargas do condutor (corrente induzida).

Maxwell então verificou que o processo inverso também era possível, ou seja, que um campo elétrico variável é uma fonte de campo magnético (Halliday, 1995). A figura (11) mostra um esquema em que ao se aumentar a carga elétrica das placas verifica-se uma variação do campo elétrico e conseqüentemente a criação de um campo magnético.

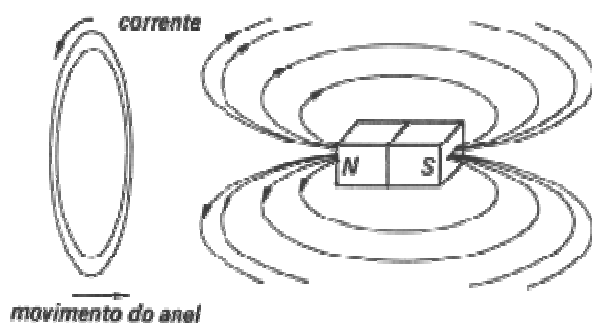


Figura 10: Um campo magnético variável produz um campo elétrico
Fonte: <http://www.algosobre.com.br>

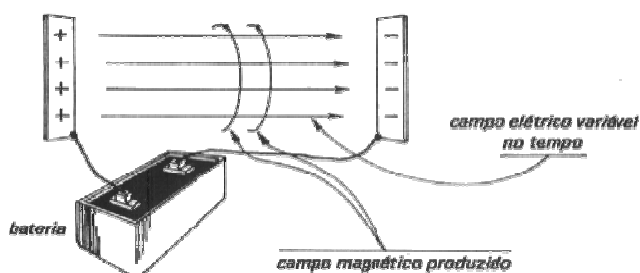


Figura 11: Um campo magnético variável produz um campo elétrico
Fonte: <http://www.algosobre.com.br>

Desse modo, Maxwell estabeleceu os princípios básicos que descrevem os fenômenos eletromagnéticos:

Um campo elétrico variável no tempo produz um campo magnético;

Um campo magnético variável no tempo produz um campo elétrico.

A verificação experimental de sua teoria só foi possível a partir da consideração de um novo tipo de onda, as **ondas eletromagnéticas**. Essas ondas surgem como consequência de dois efeitos: Um campo magnético variável produz um campo elétrico que por sua vez produz um campo magnético (fig. 12). Esses dois campos em constantes e recíprocas induções propagam-se pelo espaço (Halliday, 1995).

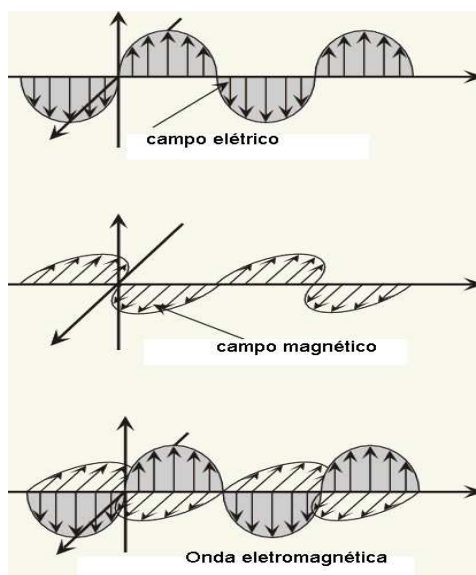


Figura 12: Ondas eletromagnéticas
Fonte: <http://www.deltateta.com.br>

Ao contrário das ondas mecânicas, as ondas eletromagnéticas não necessitam obrigatoriamente de um meio material para sua propagação, ou seja, ondas eletromagnéticas podem

se propagar no vácuo com velocidade constante “c” ($3 \cdot 10^8$ m/s) igual a da luz e em meios materiais com velocidade menor que a sua velocidade no vácuo. Vale frisar que a luz, propriamente dita, é uma onda eletromagnética com frequência na região do espectro visível.

Elementos de uma onda:

Para descrever matematicamente uma onda, é necessário uma série de grandezas como velocidade, amplitude, frequência, período e comprimento de onda. A figura (13) apresenta uma onda periódica³ com seus principais elementos.

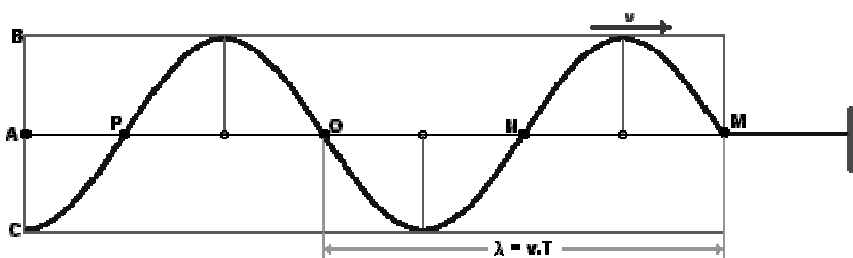


Figura 13: Onda periódica
Fonte: <http://www.infoescola.com/fisica>

Velocidade (v) – é a rapidez com que uma onda desloca-se em um determinado meio ou no vácuo (caso onda eletromagnética).

Amplitude – corresponde à oscilação máxima de uma onda, é a altura da crista ou do vale.

Frequência (f) – representa o número de oscilações que uma onda realiza em um determinado intervalo de tempo. Também pode ser definida como o inverso do período. A unidade de frequência no S.I é o Hertz (Hz) que representa o número de oscilações completas que uma onda executa em um segundo.

$$f = \frac{\text{n}^{\circ} \text{ de oscilações completas}}{\text{tempo}} \quad f = \frac{1}{T}$$

Período (T) – representa o tempo necessário para uma onda realizar uma oscilação completa.

$$T = \frac{\text{tempo decorrido}}{\text{n}^{\circ} \text{ de oscilações completas}} \quad T = \frac{1}{f}$$

Comprimento de onda (λ) – corresponde à distância entre duas cristas consecutivas, dois vales consecutivos ou a distância correspondente a uma oscilação completa. O comprimento de onda é

³ São trens de ondas produzidas por uma fonte com oscilações regulares, de período constante. Se as oscilações forem harmônicas simples, vão se propagar ondas harmônicas simples (Gaspar, 2001).

inversamente proporcional à frequência para uma dada velocidade, isto é, quanto maior o comprimento de onda menor a frequência.

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Espectro eletromagnético

O espectro eletromagnético representado na figura (14) apresenta o intervalo conhecido da radiação eletromagnética. Sua constituição é baseada em duas características fundamentais das ondas: comprimento de onda e frequência, medidos no vácuo, a medida que a frequência aumenta o comprimento de onda diminui.

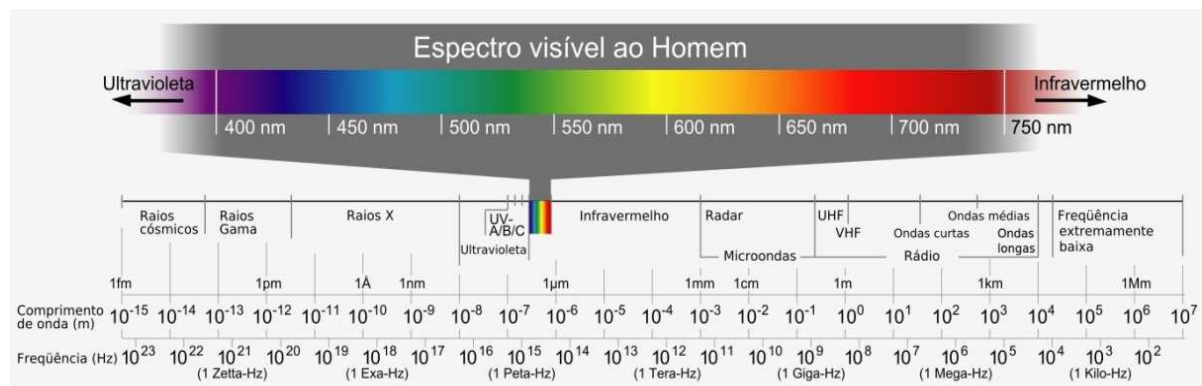


Figura 14: Espectro eletromagnético enfatizando a radiação visível
 Fonte: fisicasemmisterios.webnode.com.br

O espectro eletromagnético compreende um intervalo contínuo de frequências e comprimento de ondas, onde determinamos diferentes faixas correspondentes aos diversos tipos de ondas eletromagnéticas existentes. A figura (15) apresenta outra representação do espectro eletromagnético relacionando o comprimento de onda a outros elementos.

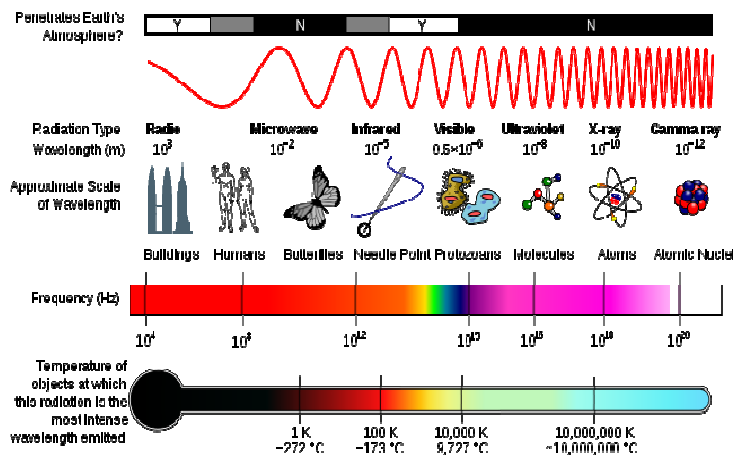


Figura 15: Espectro eletromagnético relacionado o comprimento de onda
 Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Espectro_eletromagnetico

O conhecimento das ondas eletromagnéticas é de vital importância para o Fisioterapeuta, já que alguns equipamentos de terapia utilizam esse tipo de vibração ondulatória como elementos de

tratamento. Entre os equipamentos de terapia que utilizam ondas eletromagnéticas para terapia podemos citar: as lâmpadas de infravermelho e o laser.

Ondas de rádio

As ondas de rádio são radiações eletromagnéticas com frequências entre 10^5 Hz a 10^8 Hz e comprimentos de onda de alguns metros a centenas de quilômetros (fig. 16). São produzidas quando uma carga elétrica oscila em uma antena, produzindo assim um campo elétrico variável e conseqüentemente um campo magnético também variável. São usadas em transmissões de dados, imagens, vídeo entre outros⁴.

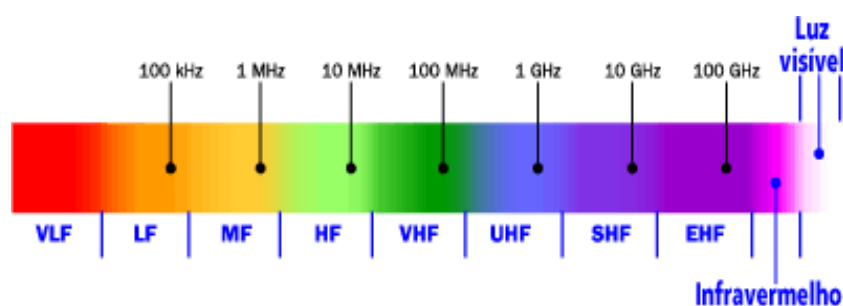


Figura 16: Espectro das ondas de rádio Fonte: <http://www.hsw.uol.com>

O processo inverso ocorre quando a onda eletromagnética chega a uma antena, o campo elétrico da onda induz o movimento dos elétrons da antena a uma mesma frequência de oscilação da onda. Esse processo permite então, que capturemos no rádio diferentes frequências.

O espectro das ondas de rádio permite muitas utilizações, as mais comuns são:

Rádio AM - 535 quilohertz a 1.7 mega-hertz

Canais de TV - 54 a 88 mega-hertz do canal 2 até o 6

Rádio FM - 88 mega-hertz a 108 mega-hertz

Canais de TV - 174 a 220 mega-hertz do canal 7 até o 13

⁴ Como funcionam as ondas de rádio. Disponível em

<<http://www.abert.org.br/site/images/stories/pdf/comofuncionamasondasderadio.pdf>>. Acesso em: 12 de mar. 2011.

Micro-ondas

As micro-ondas são ondas eletromagnéticas com frequências entre 10⁹ Hz a 10¹¹ Hz e comprimento de onda de 1m a 1 mm.

Existem várias aplicações para esse tipo de onda, entre as mais importantes estão a utilização em telecomunicações (celulares), fornos de micro-ondas e radares⁵.

As micro-ondas utilizadas em fornos de micro-ondas utilizam uma frequência em torno de 2,5 GHz. No interior do aparelho o magnétron produz um campo magnético através da vibração dos elétrons. Através desse campo, as micro-ondas polarizam as moléculas de água fazendo com que girem cerca de 2500 milhões de vezes por segundo, produzindo dessa forma calor. As micro-ondas têm a capacidade de penetrar profundamente nos alimentos produzindo um aquecimento interno uniforme, reduzindo assim o tempo de aquecimento.

Infravermelho

A radiação infravermelha é uma parte da radiação eletromagnética cujo comprimento de onda é maior que o da luz visível e menor que o das micro-ondas. A região de frequência do infravermelho se estende de 10¹² Hz a 10¹⁴ Hz.

Este tipo de radiação pode ser compreendido como ondas de calor, dessa forma qualquer corpo que esteja a uma temperatura superior ao zero absoluto (0 Kelvin), irradiará ondas de infravermelho. Assim uma fogueira, um aquecedor, um metal aquecido ou o próprio corpo humano e de outros animais são bons emissores de ondas de infravermelho, já que o poder emissivo é proporcional à temperatura (quanto maior a temperatura, maior a emissão de ondas de calor na faixa do infravermelho).

Um importante fato aplicado às radiações infravermelhas está relacionado ao processo de transmissão de calor do Sol à Terra. Porém, uma aplicação importante descoberta pelo homem está na medicina. Fotografias obtidas com infravermelho revelam informações que não são detectadas por outros processos, a termografia térmica permite obter informações não reveladas por raios-x, por exemplo. O uso desse método tem se revelado de grande auxílio no diagnóstico de doenças inflamatórias, como artrites e distensões musculares⁶.

Luz Visível

A luz visível ou simplesmente luz é uma radiação eletromagnética com frequência compreendida entre 10¹⁴ Hz a 10¹⁵ Hz. Neste intervalo existem inúmeras frequências ou como costumamos nos referimos; inúmeras cores. É comum dividir o intervalo da luz visível em sete grupos⁷. A tabela I apresenta as sete cores fundamentais com suas respectivas frequências e comprimento de onda.

⁵ O que é radiação de micro ondas? Disponível em <<http://cienctec.com.br/wordpress/index.php/o-que-e-radiacao-de-micro-ondas/>>. Acesso em: 05 abr. 2011.

⁶ Radiação infravermelha. Disponível em <<http://www.algosobre.com.br/fisica/radiacao-infravermelha.html>>. Acesso em: 12 de mar. 2011.

⁷ Espectro visível. Disponível em <<http://www.infoescola.com/fisica/espectro-visivel/>>. Acesso em 18 de mar. 2011.

Tabela I: Cores do espectro visível com respectivos comprimentos de onda e frequência em relação ao vácuo.

Cor	Comprimento de onda (nm)	Frequência (THz)
Vermelho	625 a 740	480 a 405
Laranja	590 a 625	510 a 480
Amarelo	565 a 590	530 a 510
Verde	500 a 565	600 a 530
Ciano	485 a 500	620 a 600
Azul	440 a 485	680 a 620
Violeta	380 a 440	790 a 680

Fonte: <http://www.infoescola.com/fisica/espectro-visivel/>

Ultravioleta

A radiação ultravioleta possui um comprimento de onda menor que a luz visível e maior que os raios-X, de 380 nm a 1 nm. A faixa de frequência compreendida por essa radiação é denominada ultravioleta por estar além do violeta do espectro visível.

São subdivididas em três faixas⁸:

UVA – corresponde à maior parte do espectro ultravioleta, penetra profundamente na pele e é responsável pela síntese da vitamina D no organismo. A radiação UVA é também a responsável pelo bronzeamento da pele, pois estimula a produção de melanina que produz o escurecimento da pele. O excesso de radiação nessa faixa pode provocar ainda o surgimento de rugas e o envelhecimento precoce da pele.

UVB – possui maior frequência que a UVA, atinge as camadas mais superficiais da derme e provoca uma dilatação dos capilares sanguíneos e conseqüentemente vermelhidão por exposição. Alguns filtros solares bloqueiam apenas a ação do UV-A, outros apenas o UV-B, mas o ideal é usar um filtro solar que além de um FPS (fator de proteção solar) auto, tenha também proteção UV-A e UV-B.

UVC - Esta parte do espectro eletromagnético das radiações ultravioletas não alcança a terra, pois são absorvidos pela camada de ozônio da atmosfera. A radiação UVC é germicida e mostra-se altamente danosa à pele humana, devido ao seu alto teor de energia. Seu efeito bactericida faz com que seja utilizada em dispositivos de esterilização.

Raios X

⁸ SEELING, M. Radiação Ultravioleta. Jun, 2003. Disponível em <<http://www.segurancaetrabalho.com.br/download/rad-uv-seelig.pdf>>. Acesso em 18 mar. 2011.

Os raios X são radiações eletromagnéticas com comprimento de onda de pm a nm (10^{-12} a 10^{-9}). São radiações muito energéticas, cuja geração é realizada pela transição de elétrons através das camadas do átomo ou pela desaceleração de elétrons⁹.

Foi Wilhelm Conrad Röntgen em 1895 quem descobriu os Raios X. A descoberta dos Raios-X ocorreu quando Röntgen estudava o fenômeno da condução da eletricidade num tubo de Crookes¹⁰.

O dispositivo gerador de Raios-X é chamado de tubo de Coolidge ou ampola de raios X (fig. 17). Este dispositivo é composto de um cátodo que emite elétrons através do efeito termoiônico e do ânodo onde ocorre a desaceleração dos elétrons. A ampola constitui-se de um tubo onde se faz o vácuo e onde os elétrons são acelerados em direção ao ânodo por uma grande diferença de potencial.

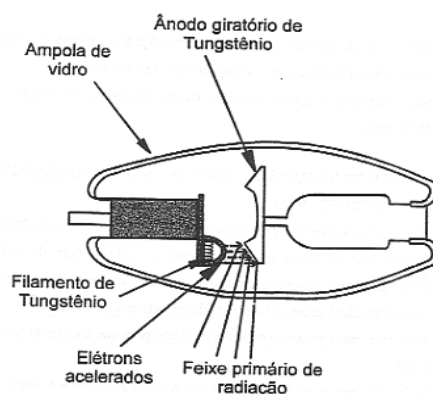


Figura 17: Ampola de raios-x
Fonte: <http://www.hsw.uol.com.br/>

Raios Gama

Os raios gama são radiações altamente energéticas, são as ondas com a maior frequência e menor comprimento de onda do espectro eletromagnético, possuindo comprimentos de onda de até 10^{-18} m. É um tipo de radiação emitida pelos núcleos dos átomos radioativos ou naturais que se rearranjam emitindo partículas.

O maior risco da radiação gama está na interação com o tecido humano, visto que essa radiação produz nos organismos mutações genéticas. Por outro lado, as radiações ionizantes podem ser usadas com grande eficiência na esterilização de aparelhos hospitalares.

Uma das aplicações mais modernas das radiações ionizantes está na Radioterapia¹¹. Radioterapia é um processo usado no tratamento de tumores através da destruição dos tecidos infectados pela absorção da energia das radiações sendo que a dose da radiação aplicada deve ser muito bem controlada, a fim de não danificar o tecido saudável. Graças à radioterapia, muitas pessoas hoje podem ser curadas ou terem uma significativa melhora na qualidade de vida.

⁹ Raios-X. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod05/m_s01.html>. Acesso em: 20 abr. 2011.

¹⁰ A descoberta dos raios x. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod06/m_s01.html>. Acesso em: 20 abr. 2011.

¹¹ Novas tecnologias ligadas à saúde. Disponível em <<http://novastecnologiassaude.blogspot.com/search/label/Radioterapia>>. Acesso em: 25 abr. 2011.

Fenômenos ondulatórios

Reflexão

A reflexão de ondas é o fenômeno que ocorre quando uma onda atinge um obstáculo e muda a direção de propagação, mantendo seu meio de propagação. Seus principais parâmetros como o comprimento de onda, velocidade e frequência não são alterados pela reflexão. A figura (18) apresenta um esquema de uma onda sofrendo reflexão.

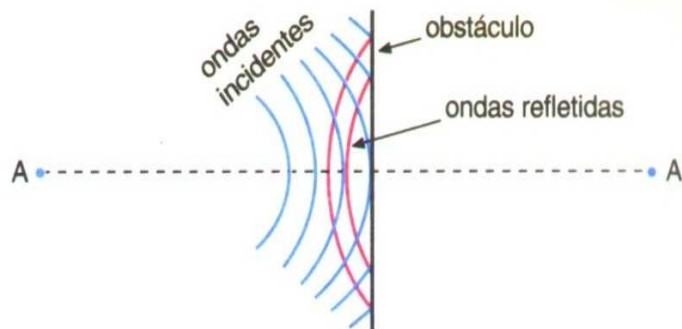


Figura 18: Reflexão de ondas
 Fonte: <http://ww2.unime.it/weblab/awardarchivio/ondulatoria/ondas.htm>

Refração

Ocorre quando uma onda que se propaga em um determinado meio (fig. 19), incide em uma superfície de separação entre dois meios e a atravessa, passando a se propagar nesse segundo meio.

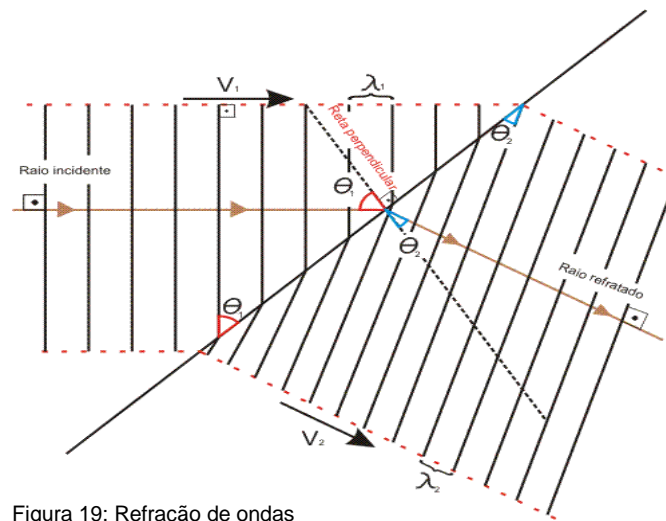


Figura 19: Refração de ondas
 Fonte: <http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Ondas/refracao.php>

Nessa passagem de um meio para outro se verifica que a velocidade de propagação e o comprimento de onda se modificam, porém, a frequência permanece constante. A mudança de direção da onda pode ser explicada pela lei de Snell-Descartes.

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Onde:

i = ângulo de incidência

r = ângulo de refração

v_1 e v_2 = velocidades da onda nos meios 1 e 2 respectivamente

λ_1 e λ_2 = comprimentos de onda nos meios 1 e 2 respectivamente

n_2 e n_1 = índices de refração dos meios 1 e 2 respectivamente

A razão entre índice de refração entre dois meios é a razão entre a velocidade da luz no meio 1 (v_1) e a velocidade da luz no meio 2 (v_2) (Gaspar, 2001). Podemos ainda, de certa forma afirmar que o índice de refração é a resistência à passagem da luz que um determinado meio oferece. Para o vácuo, o índice de refração da luz é 1, portanto, é o menor valor possível.

Na refração podemos observar um comportamento diferente quanto à luz e a o som. A figura (20a) mostra que quando a luz passa de um meio menos refringente (com índice de refração menor) para um meio mais refringente, sua direção se aproxima da normal, no caso do som, na figura (20b) pode-se observar o afastamento da normal.

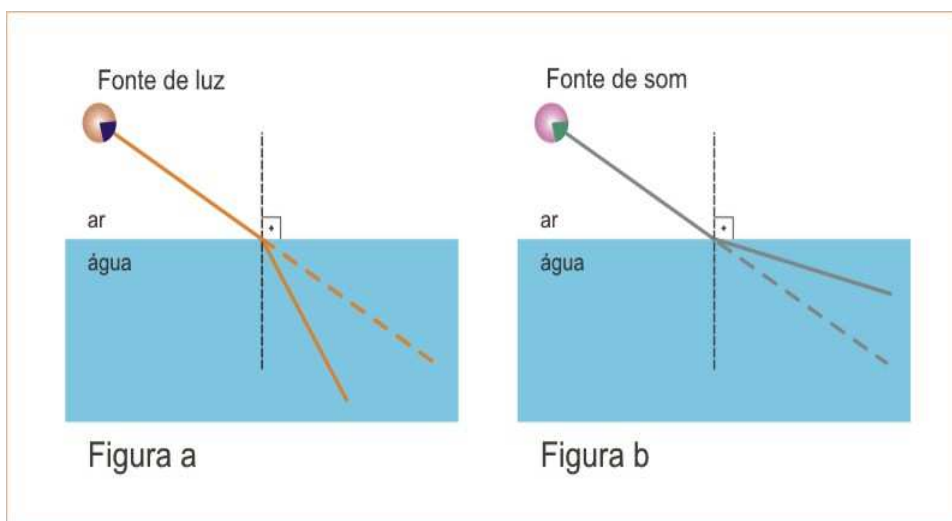


Figura 20: Refração da luz e do som
 Fonte: <http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2010/09/ondas.htm>

Difração

A difração pode ser explicada pelo princípio de Huygens: quando pontos de uma abertura são atingidos pela frente de onda, eles se tornam fontes de ondas secundárias que mudam a direção de propagação da onda principal, contornando o obstáculo (Ramalho, 2007). Porém, o fenômeno da difração somente será perceptível quando as dimensões do comprimento de onda da onda incidente forem da mesma magnitude da ordem de grandeza do obstáculo (fig. 21).

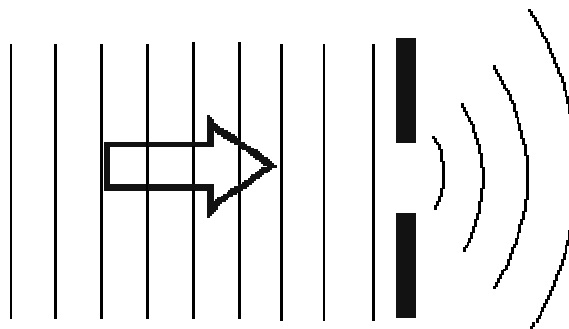


Figura 21: Difração de ondas
 Fonte: <http://educar.sc.usp.br/licenciatura/2003/of/Difracao.html>

Interferência

A interferência de ondas é um fenômeno resultante da superposição de duas ou mais ondas (Ramalho, 2007). Quando duas ou mais ondas se encontram em um determinado ponto, ocorre nesse ponto uma soma algébrica das propriedades das ondas. Depois do cruzamento das ondas, cada uma segue como se não houvesse ocorrido a superposição. O princípio da superposição garante que ondas, ao contrário de partículas, não alterem suas características quando interagem (Gaspar, 2001). A superposição pode ter um caráter de aniquilação, quando as fases não são as mesmas (interferência destrutiva) ou pode ter um caráter de reforço quando as fases combinam (interferência construtiva). A figura (22) apresenta os tipos de interferência que podemos encontrar em ondas.

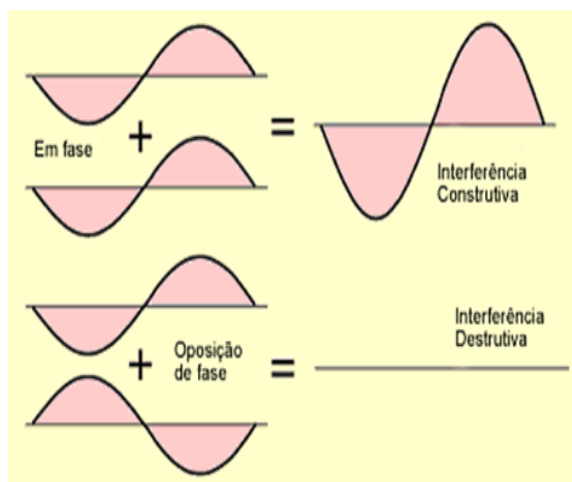


Figura 2: Interferência de ondas
 Fonte: <http://esec.pt/~pcarvalho/pondas.html>

Polarização

Polarizar uma onda significa filtrar suas diferentes direções de vibração, ou seja, obter vibrações numa única direção. A figura (23) mostra diferentes maneiras de se polarizar a luz. A polarização ocorre somente com ondas transversais como a luz, desse modo não podemos polarizar ondas mecânicas como o som, por exemplo.

Dispersão

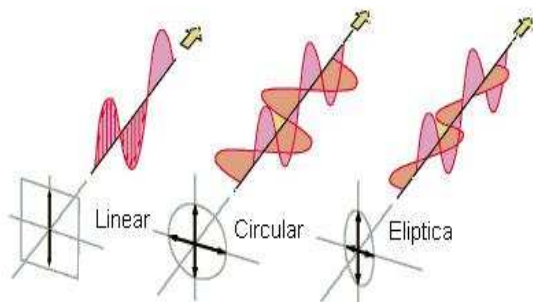


Figura 23: Polarização de ondas eletromagnéticas
Fonte: <http://www.ifi.unicamp.br>

Segundo Young (2009. b), a luz branca é uma superposição de diferentes frequências ou cores. No vácuo, a luz e todas suas componentes, apresentam a mesma velocidade, porém no interior de um material a velocidade varia de acordo com o comprimento de onda. Assim, quando a luz atravessa um determinado material, o índice de refração aumenta quando o comprimento de onda diminui ou quando a frequência aumenta. A luz que possui comprimento de onda maior se desloca com velocidade superior àquela que possui comprimento de onda menor (2009. b). A figura (24) mostra a dispersão da luz branca ao atravessar um prisma de vidro. A frequência das cores aumenta a partir do vermelho para o violeta.

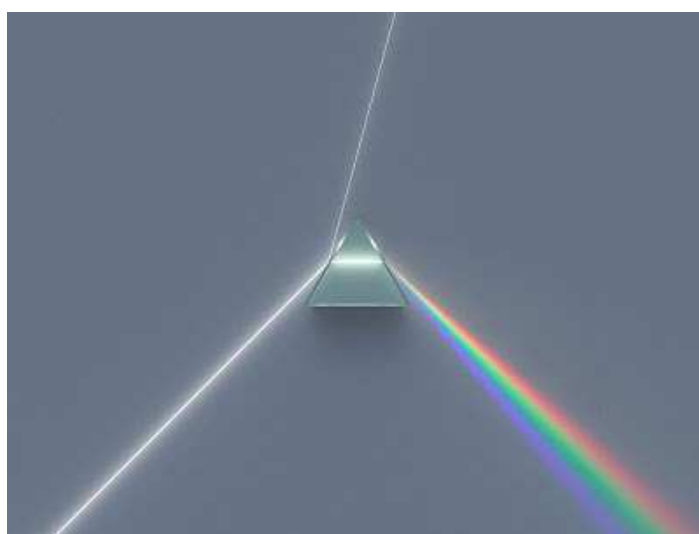


Figura 24: Dispersão da luz branca em um prisma
<http://profbiriba.blogspot.com/2011/01/aula-dispersao-da-luz-por-um-prisma.html>

2.3 ELETRICIDADE

Os fenômenos elétricos são observados e conhecidos há séculos. O termo eletricidade tem origem na palavra *elektron*, nome grego para o Âmbar (fig. 1). No ano de 600 a.C, os gregos descobriram que, atritado com lã, o âmbar adquiria a propriedade de atrair outros objetos (Young, 2009. a).



Figura 1: Eletrização do Âmbar
Fonte: <http://www.ced.ufsc.br>

Somente a partir do século XX, a ideia do átomo como constituinte elementar da matéria apoia a convicção de que a eletricidade é uma propriedade das partículas que formam o átomo: *prótons*, partículas positivas que juntamente com nêutrons formam o núcleo atômico e os *elétrons*, partículas elementares negativas que orbitam em camadas o núcleo do átomo (fig. 2).

Na verdade, a partir da década de 60 postulou-se a existência de novas partículas elementares denominadas *quarks* como constituintes dos prótons e nêutrons. Os quarks têm cargas elétricas positivas ou negativas, com valores de 1/3 ou 2/3 da carga e do elétron. Dessa forma, os elétrons continuam a serem partículas elementares, porém, segundo Young (2009. a), prótons e nêutrons são constituídos de quarks. O próton passa a ser composto por dois *quarks up* e um *quark down*, enquanto o nêutron é formado por dois *quarks down* e um *quark up*.

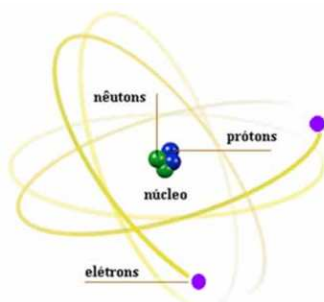


Figura 2: Esquema simplista do átomo
Fonte: <http://www.algosobre.com.br/fisica/atomo.html>

Assim:

- Elétron, com massa $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ e carga elétrica $q_e = -1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$;
- Próton, com massa $m_p = 1,675 \times 10^{-27} \text{ kg}$ e carga elétrica $q_p = +1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$;
- Nêutron, com massa $m_n = 1,673 \times 10^{-27} \text{ kg}$ e carga elétrica nula.

Carga elétrica é na verdade, uma propriedade de elétrons e prótons que lhes permite interagir entre si.

Propriedades da carga elétrica

- A carga elétrica de um sistema isolado se conserva (princípio da conservação da carga elétrica), isto é, cargas elétricas podem passar de um corpo para outro e não são criadas nem destruídas;
- A carga elétrica é quantizada, só existe em múltiplos da carga elementar e do elétron, então a carga de um corpo é dada por: $Q = n.e$;
- Em um átomo o número de cargas elétricas positivas é igual ao número de cargas elétricas negativas, isto significa que um átomo é eletricamente neutro;
- Duas cargas elétricas positivas se repelem do mesmo modo que duas cargas negativas, porém, existe uma atração entre uma carga positiva e uma negativa;
- Quando um átomo ganha ou perde elétrons, deixa de ser neutro e passa a ser denominado íon. Lembrando que sempre são os elétrons que se movimentam de um átomo para outro, nunca os prótons. Denominamos um átomo de **ânion** (íon negativo) se o átomo receber elétrons e de **cátion** (íon positivo) se o átomo perder elétrons. A figura (3) mostra as possibilidades de eletrização de um átomo.

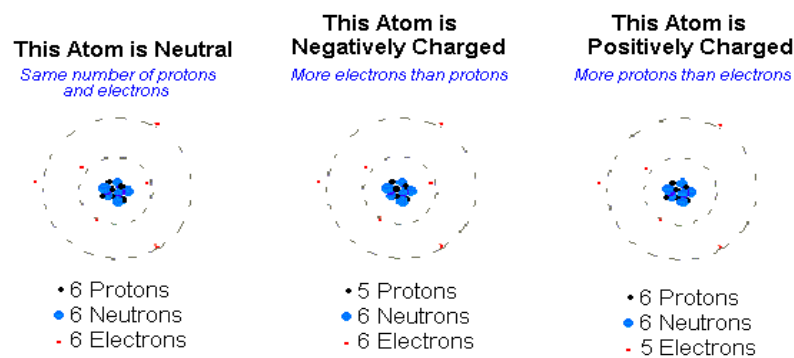


Figura 3: Átomo neutro e carregado
Fonte: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br>

Força entre corpos carregados

Charles Augustin de Coulomb (1736-1806) estudou a força de interação entre partículas carregadas em 1784 (Young, 2009. a) e estabeleceu a seguinte relação:

$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

“O módulo da força elétrica entre duas cargas puntiformes é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas.”

Essa relação denominada Lei de Coulomb estabelece a intensidade da força de interação entre duas cargas elétricas (fig. 4). O valor da constante de proporcionalidade k na Lei de Coulomb depende do sistema de unidades (Young, 2009. a). Usando unidades do S.I, a constante k é $k \approx 8,988 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$.

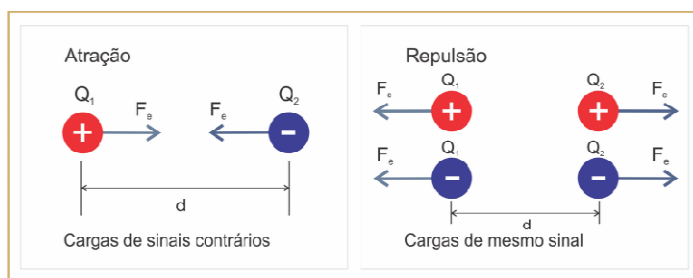


Figura 4: Força entre cargas
 Fonte: <http://osfundamentosdafisica.blogspot.com>

Campo elétrico

Conforme vimos até agora, as cargas elétricas interagem entre si atraindo-se e repelindo-se. Porém uma pergunta é pertinente nesse caso. Como uma carga elétrica pressente a presença de outra?

Podemos imaginar que existe uma região em torno de uma carga elétrica Q onde a presença de qualquer carga-teste q é percebida através de forças que atuam em q . Nessa região, onde há atuação de forças elétricas, dizemos que há um campo elétrico (\vec{E}) devido a carga Q . A força elétrica sobre um corpo carregado é exercida pelo campo elétrico produzido por outros corpos carregados (Young, 2009. a).

Para representar o campo elétrico de uma carga elétrica e também diferenciar campo elétrico de carga positiva de negativa, utilizamos as linhas de força ou linhas de campo, representadas na figura (5). Desse modo, para uma carga positiva temos linhas de força de afastamento e para a carga negativa, linhas de força de aproximação.

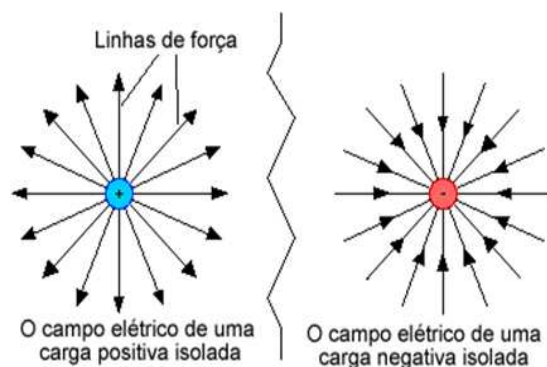


Figura 5: Linhas de campo
 Fonte: <http://educacao.uol.com.br/fisica>

Relacionando a direção e o sentido da força elétrica \vec{F} com a direção e o sentido do campo elétrico \vec{E} , para partículas carregadas e submetidas a um campo externo, temos:

- Se $q < 0$, \vec{F} e \vec{E} tem mesma direção, porém sentidos contrários, ou seja, cargas negativas se movimentam no sentido contrário ao do campo elétrico.

- Se $q > 0$, \vec{F} e \vec{E} tem mesma direção e sentido, ou seja, cargas positivas se movimentam no mesmo sentido do campo elétrico.

A figura (6) apresenta a direção e sentido da força elétrica e do campo elétrico em uma carga positiva e uma carga negativa colocadas em uma região onde existe um campo elétrico.

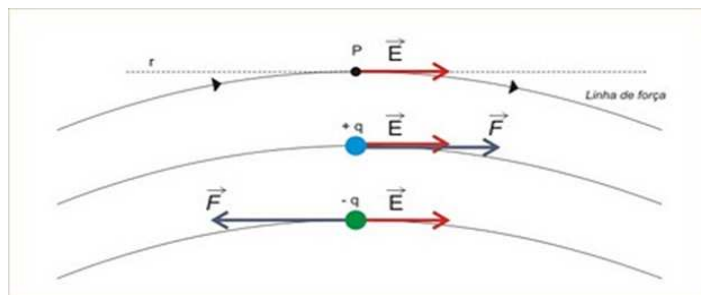


Figura 6: Cargas, forças e campo elétrico
 Fonte: <http://educacao.uol.com.br/fisica>

Potencial elétrico (V)

O potencial elétrico está associado à distribuição de energia em um campo elétrico. Quando uma partícula carregada se desloca em um campo elétrico, o campo exerce uma força que realiza um *trabalho* sobre a partícula (Young, 2009. a). Se uma carga se movimenta no interior de um campo elétrico, é porque esta recebeu energia do potencial elétrico para realizar esse deslocamento. Da mesma forma em que a energia potencial gravitacional depende da altura da massa em relação a um referencial, a energia potencial elétrica depende da posição da partícula carregada no interior do campo elétrico. De certa forma, podemos dizer que o potencial elétrico, ou melhor, a diferença de potencial (d.d.p) é a responsável pelo movimento de partículas carregadas no interior de um campo elétrico.

Corrente elétrica

Podemos ter três tipos de condutores elétricos:

1. Condutores metálicos – Os metais em geral, são bons condutores de eletricidade, pois possuem, devido a sua estrutura, **elétrons livres** na última camada. Desse modo, o movimento ordenado desses elétrons em um condutor que define a corrente elétrica. São bons condutores elétricos o cobre, alumínio e ouro, por exemplo. A figura (7) mostra um esquema do movimento dos elétrons no interior de um condutor metálico.

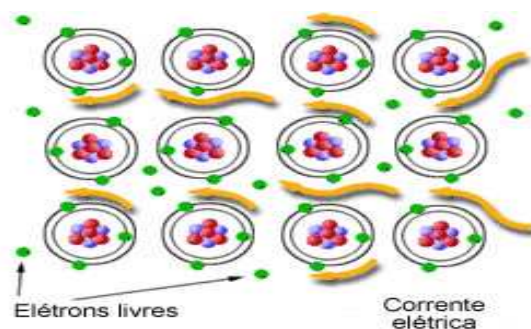


Figura 7: Movimento de elétrons livres em metais
 Fonte: <http://www.infoescola.com/quimica/eletron-livre>

2. Condutores líquidos – a corrente elétrica nos líquidos é normalmente denominada corrente iônica. Nos líquidos, a corrente elétrica é devida ao **movimento de cátions ou ânions** em direções opostas devido às diferenças de potencial. Podemos citar como exemplo, as soluções básicas ácidas ou salinas como o sal de cozinha (NaCl) formada por cátions Na^+ e ânions Cl^- . A figura (8a) mostra o movimento aleatório de íons positivos e negativos em uma solução e a figura (8b) mostra o movimento ordenado dos íons devido a uma diferença de potencial.

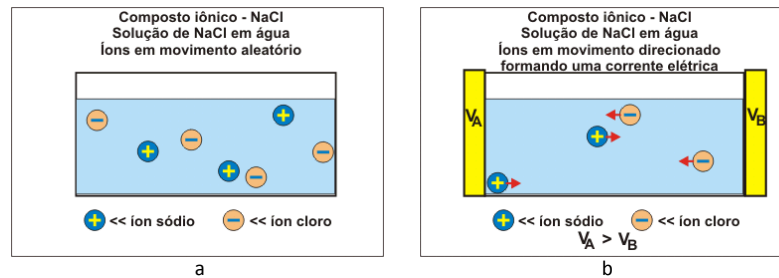


Figura 8: Íons em movimento aleatório e ordenado
 Fonte: http://alfaconnection.net/pag_avsf/ele0201.htm

3. Condutores gasosos – nesses condutores ocorre o movimento ordenado dos **elétrons e ânions** para o polo positivo e de **cátions** para o polo negativo. Normalmente, os gases tornam-se condutores se submetidos a grandes diferenças de potencial (gases ionizados). Como exemplo, podemos citar o fósforo, néon, mercúrio.

Desse modo:

Corrente elétrica, é o movimento ordenado dos portadores de carga elétrica no interior de um condutor.

Intensidade da corrente elétrica (i)

Observe a figura (9) que mostra o movimento de elétrons no interior de um condutor.

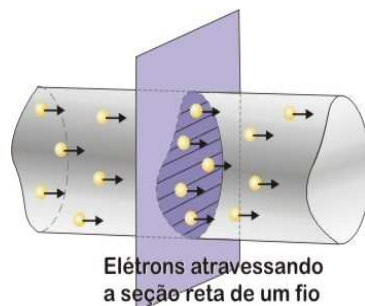


Figura 9: Movimento de elétrons
 Fonte: <http://www.novafisica.net/conteudo/corrente3.htm>

Se por uma seção reta de um condutor passa, em um intervalo de tempo Δt , uma quantidade de carga Q , temos então:

$$i = \frac{Q}{\Delta t}$$

Assim a unidade de corrente elétrica no S.I é o Coulombs por segundo e é denominada Ampére (A). Nos aparelhos de eletroterapia a corrente é baixa, da ordem de mA (10^{-3}) ou μ A (10^{-6}), pois os eletrodos estão em contato direto com a pele.

Quando falamos de corrente elétrica devemos sempre considerar o sentido real e o sentido convencional da corrente elétrica. O sentido real é dado pelo movimento dos elétrons do polo de menor potencial para o polo de maior potencial (negativo para o positivo), enquanto no sentido convencional adotamos o movimento contrário ao dos elétrons (fig. 10), como se as cargas positivas se deslocassem do polo positivo para o negativo.



Figura 10: Sentido da corrente elétrica
 Fonte: <http://www.infoescola.com/fisica/corrente-eletrica/>

Tipos de corrente elétrica

1. Corrente contínua (cc) – caracteriza-se pelo movimento dos portadores de carga em apenas uma direção, mantendo a polaridade e intensidade da corrente elétrica constante no decorrer do tempo. É a corrente em pilhas, baterias e dínamos (fig. 11).

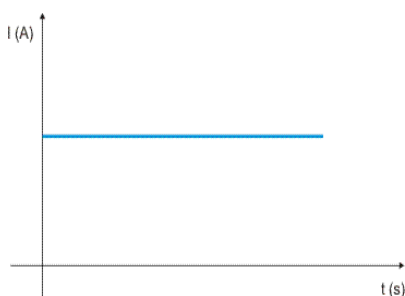


Figura 11: Corrente elétrica contínua
 Fonte: [Fonte: http://www.infoescola.com/fisica/corrente-eletrica](http://www.infoescola.com/fisica/corrente-eletrica)

2. Corrente alternada (ca) – o sentido do movimento dos portadores varia constantemente. A variação da polaridade produz uma variação na intensidade da corrente, fazendo surgir máximos e mínimos de intensidade. A corrente que chega as nossas casas é um exemplo de corrente alternada de 60 Hz produzida em usinas hidrelétricas (figura 12).

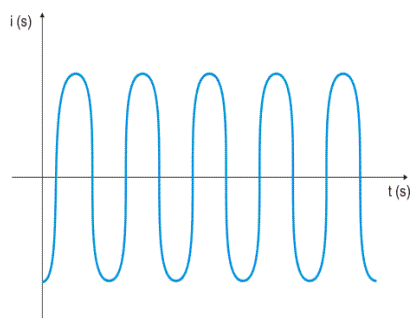


Figura 12: Corrente elétrica alternada
 Fonte: <http://www.infoescola.com/fisica/corrente-eletrica>

Resistência elétrica

Para que ocorra o deslocamento ordenado dos portadores de carga no interior de um condutor é necessária a existência de uma diferença de potencial (d.d.p, voltagem ou tensão). Porém no seu deslocamento os portadores de carga encontram uma certa dificuldade ou resistência devido a irregularidades da rede cristalina, interferindo diretamente na corrente elétrica que flui. A Lei de Ohm estabelece a relação entre as três grandezas envolvidas, sendo U a diferença de potencial, R a resistência e i a corrente elétrica:

$$U = R \cdot i$$

A unidade de resistência elétrica é o Ohm (Ω)

Podemos também relacionar a resistência elétrica com as dimensões de um condutor e suas dimensões através da fórmula:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{\alpha}$$

Onde ρ é a resistividade do material, l o comprimento do condutor e α é a área do condutor.

A resistência dos tecidos apresenta-se bastante variável, dependendo de sua composição e da corrente que circula. Tecidos ricos em líquidos e soluções salinas serão bons condutores.

Condutividade elétrica corporal

Organismo é um semicondutor, ou seja, possui condutividade intermediária entre bons condutores e isolantes (maus condutores), visto que o movimento de íons no interior dos tecidos produz efeitos químicos e físicos. O organismo é um condutor de segunda ordem ou *semicondutor*,

quer dizer, os íons presentes nas dissoluções e dispersões coloidais, transmitirão a energia aplicada (Agne, 2004).

A maior ou menor condutividade dos tecidos está relacionada ao conteúdo de água como dissolvente e seus solutos. Desse modo, osso, gordura, e pele não são bons condutores. Pele úmida, tendões são condutores médios e o sangue e os líquidos intracelular e extracelular são bons condutores.

Efeitos da corrente elétrica

Segundo Moraes (2006), são efeitos da corrente elétrica:

Efeito térmico ou Efeito Joule: É o efeito de aquecimento, causado pelo choque dos elétrons livres contra os átomos dos condutores. Esse efeito é aplicado em resistências de aquecimento, como o chuveiro ou fontes de infravermelho por resistências enroladas em cerâmica. A passagem da corrente elétrica pela “resistência” provoca o efeito térmico ou efeito Joule que aquece. Qualquer condutor sofre um aquecimento ao ser atravessado por uma corrente elétrica, porque sempre há imperfeições nas redes cristalinas, onde os elétrons colidem.

Efeito químico: Corresponde aos fenômenos elétricos nas estruturas moleculares. Caracteriza-se pela separação de uma solução iônica através de uma diferença de potencial (d.d.p). Ao se estabelecer uma d.d.p em eletrodos imersos numa solução eletrolítica, produz-se um movimento de cátions e ânions em sentidos contrários.

Efeito magnético: O movimento de cargas elétricas em condutor gera na região em torno desse condutor, um campo magnético.

Efeito luminoso: É um fenômeno que ocorre a nível molecular. A passagem da corrente por um gás provoca a excitação de elétrons dos átomos, que ao retornarem os níveis fundamentais, emitem luz. As lâmpadas fluorescentes e os anúncios luminosos são aplicações desse efeito.

Efeitos fisiológicos: Quando a corrente elétrica atravessa um tecido vivo podem ocorrer diferentes reações fisiológicas, como a vasodilatação, a ação simpaticolítica e a ação ionizante.

Efeitos do choque no corpo humano

- a) Tetanização – é a paralização muscular pela circulação da corrente. Como a corrente supera os impulsos elétricos cerebrais, ocorre um bloqueio nos comandos voluntários.
- b) Parada respiratória – é a Tetanização dos músculos responsáveis pela movimentação do diafragma, interrompendo a respiração.
- c) Queimaduras – são provocadas pelo efeito Joule e podem provocar queimaduras de 1º, 2º e 3º graus. São queimaduras profundas causando a morte e por insuficiência renal.

- d) Fibrilação ventriculada – é a perturbação pela corrente dos movimentos do coração. É um fenômeno que permanece após o contato com a corrente sendo necessário, para a regularização, de um desfibrilador.

Além dos efeitos acima citados, utilizam-se aparelhos em eletroterapia com base em dois importantes efeitos: efeito excitomotor e efeito analgésico.

Efeito excitomotor

Os aparelhos utilizados para a contração muscular através de estímulos elétricos são divididos em duas categorias:

Estimulação Elétrica Neuromuscular

Estimulação do músculo através do seu nervo periférico, com o objetivo de restaurar, manter ou melhorar sua capacidade funcional. Como exemplo, podemos citar a Corrente Russa.

Estimulação Elétrica Funcional

É uma forma de eletroterapia capaz de produzir contrações musculares com objetivos funcionais. É uma estimulação de músculos desprovidos de controle motor ou com insuficiência contrátil. Como exemplo podemos citar o F.E.S (*functional electrical stimulation*).

Efeito analgésico

Na eletroterapia são utilizados o T.E.N.S e o Interferencial vetorial para analgesia. A estimulação elétrica transcutânea é orientada para estimular as fibras nervosas que transmitem sinais ao cérebro e são interpretados pelo tálamo como dor.

T.E.N.S

Funcionam mediante uma corrente elétrica alternada caracterizada por uma duração e intervalo de fase ajustável, bem como sua frequência. Produzem uma semi-onda quadrada positiva com um pico negativo.

Interferencial Vetorial

No interferencial são aplicados no paciente, quatro eletrodos com baixa intensidade a fim de produzir em um ponto específico a interferência das correntes e, portanto, efeitos mais evidentes que não poderiam ser aplicados diretamente na pele.

3 EQUIPAMENTOS DE ELETROTERMOFOTOTERAPIA

3.1 LÂMPADA DE INFRAVERMELHO

É um equipamento que utiliza ondas eletromagnéticas de infravermelho a fim de produzir aquecimento. Classifica-se como energia radiante, pois não existe um contato direto com o corpo. A figura (1) ilustra uma lâmpada de infravermelho emitindo calor por radiação. Os geradores de radiação infravermelha, assim como as lâmpadas, produzem radiação pela passagem de uma corrente elétrica em um filamento de tungstênio dentro de um bulbo de vidro, que contém um gás inerte a baixa pressão.



Figura 1: Lâmpada de infravermelho

Podemos ainda contar com geradores de ondas infravermelhas não luminosas, como os filamentos resistivos enrolados em porcelana.

As radiações de infravermelho apresentam comprimentos de onda variando de 770 a 10.000 nm sendo consideradas terapêuticas as frequências próximas de 10.000 nm (Agne, 2004). As radiações infravermelhas podem ser refletidas, absorvidas, refratadas e sofrer difração, contudo, a absorção e a reflexão os efeitos mais desejáveis biologicamente e clinicamente.

Kitchen (2003), afirma que as radiações infravermelhas produzem aquecimento devido a absorção da radiação, que produz aumento na agitação molecular e, conseqüentemente, alterações térmicas.

Segundo Agne (2004, p. 228) em nível local são considerados os seguintes efeitos:

- Eritema de rápido aparecimento, produzindo por vasodilatação cutânea em função do aumento da temperatura. A duração desse eritema pode chegar até 1 hora.
- Efeito anti-inflamatório e de cicatrização, decorrente do maior aporte de nutrientes e células de defesa.
- Aumento da sudorese.
- Relaxamento muscular pela maior irrigação sanguínea, facilitando a preparação para o exercício.

De forma geral, o aquecimento em todo o organismo produz:

- Vasodilatação superficial generalizada que pode produzir redução da pressão arterial,
- Sedação e relaxamento geral.

O infravermelho se constitui em uma forma de aquecimento, sendo sua penetração bastante controversa. Segundo Agne (2004), há um consenso de que o calor atinja de 5 a 10 mm abaixo da pele sendo, portanto, o infravermelho considerado uma modalidade de aquecimento superficial. Porém a potência da fonte (lâmpada), o tipo de tecido irradiado, o ângulo de aplicação e o comprimento de onda utilizado constituem fatores que interferem e determinam a penetração do infravermelho. A dosagem é determinada por fatores como a potência da lâmpada, a distância da fonte a pele e o tempo de aplicação.

As principais indicações do calor por infravermelho ocorrem quando há necessidade de aumento da temperatura dos tecidos, buscando o relaxamento muscular. Nunca esquecendo que o calor é um coadjuvante no tratamento, precedendo outras técnicas (Agne, 2004).

3.2 LASER

A palavra Laser significa “Luz Amplificada por Emissão Estimulada de Radiação” (Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation). Embora Albert Einstein tenha descoberto a emissão estimulada da radiação, somente em 1960 Theodore Maiman (fig. 1), produziu o primeiro disparo desse tipo especial de luz com auxílio de um rubi (Kitchen, 2003).



Figura 1: Theodore Maiman e o seu laser de rubi
Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Theodore_Maiman

O átomo pode ser compreendido de uma maneira simples, como um núcleo formado de prótons e nêutrons e uma região externa denominada eletrosfera onde circulam, em determinadas órbitas, os elétrons.

O estado natural e, portanto, de menor energia de um átomo é configurado quando os elétrons vão preenchendo as órbitas de menor para maior energia obedecendo ao Princípio de Exclusão de Pauli¹². Esse estado é denominado de estado fundamental do átomo. A figura (2) apresenta um esquema do átomo com os níveis K, L e M. Cada uma dessas órbitas, também chamadas de camadas, possui uma energia diferente, sendo que quanto mais distante a camada estiver do núcleo, maior a sua energia¹³.

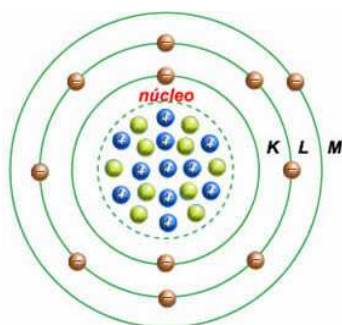


Figura 2: Modelo atômico de Bohr com os respectivos níveis de energia
Fonte: <http://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/estudo-atomo-bohr.htm>

¹² “Em um átomo multieletrônico nunca pode haver mais de um elétron ocupando o mesmo estado quântico” (Eisberg, 1979).

¹³ Segundo energia de ligação do átomo de hidrogênio (Eisberg, p.141, 1979).

Quando um átomo é exposto a uma fonte de energia como a luz, por exemplo, os elétrons podem absorver parte dessa energia e saltar para níveis de energia maiores (fig. 3a) ou mais energéticos. Segundo Bagnato (2001), quando o elétron adquire energia e pula para uma órbita mais externa ele estará “instável”, em um estado de ordem não natural.

O fenômeno de absorção de energia por parte dos elétrons não é permanente, pois o átomo sempre tende a retornar ao seu estado de menor energia ou estado fundamental. Assim, o elétron retorna a órbita de menor energia (fig. 3b) liberando uma quantidade discreta de energia (o chamado fóton) que é justamente a diferença de energia entre os níveis (ou camadas) envolvidos na transição eletrônica¹⁴.

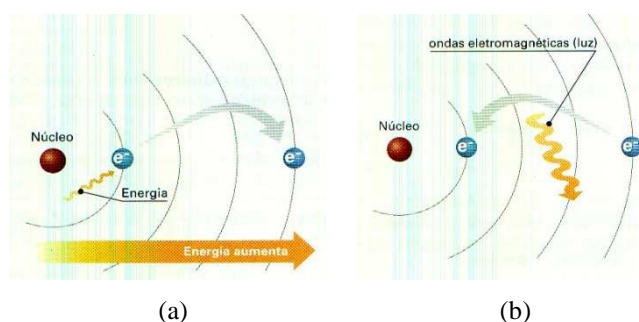


Figura 3: Absorção e emissão de energia
 Fonte: <http://www.profpc.com.br>

A emissão de luz (ou fótons) pelos elétrons do átomo excitado, ao retornar ao estado fundamental, é facilmente observada em qualquer fenômeno com emissão de luz como a chama do fogo, um metal superaquecido, o filamento de uma lâmpada incandescente ou a emissão de luz em uma lâmpada fluorescente. O que difere o laser de uma emissão normal de luz é a maneira como os elétrons emitem essa radiação. Enquanto a emissão normal ocorre de forma aleatória a todo instante e em diferentes níveis, a emissão do laser é um processo de emissão estimulada que emite fótons de forma coerente. Os fótons emitidos saem todos em uma mesma direção (são colimados), são emitidos todos juntos (são correntes) e tem toda a mesma frequência (uma mesma cor).

Quando um elétron se encontra em um estado excitado e, portanto, com excesso de energia, existe a tendência natural de que ele retorne ao seu estado de mais baixa energia (o estado fundamental). O retorno ao estado fundamental pode ser espontâneo, o elétron emite um fóton ou alguns fótons e retorna ao estado fundamental espontaneamente ou a emissão de fótons pode ser estimulada. Na emissão estimulada, um fóton externo que passe pelo átomo, pode estimular um elétron excitado a emitir outro fóton de mesma energia e na mesma direção que o fóton externo.

No caso de átomos que produzem laser, para que ocorra a emissão de energia sobressalente, torna-se necessário um “estímulo”, que nesse caso, também é um fóton. Assim, um fóton que passa pelo átomo pode estimular o elétron excitado a emitir um fóton e retornar ao estado fundamental. Temos desse modo, os dois fótons emergindo juntos, com a mesma energia e na mesma direção. A partir daí podemos imaginar que esses dois fótons irão estimular a emissão de outros fótons por outros elétrons que estejam excitados e assim sucessivamente. Assim, a luz do

¹⁴ De acordo com o 4º postulado de Bohr (Eisberg, 1979).

laser provém justamente da emissão que ocorre quando elétrons decaem de seus níveis energéticos de forma estimulada, produzindo um feixe de luz onde todas as pequenas porções (fótons) comportam-se identicamente (Bagnato, 2001).

O laser se inicia com a incidência de luz sobre uma barra de rubi ou um gás como o Hélio Neon. A luz fornece a energia necessária para excitar um grande número de átomos até o instante em que ocorra a emissão dos primeiros fótons. Para melhorar a estimulação colocam-se espelhos nas extremidades (fig. 4). Sua função é justamente a de fazer com que os fótons que emergem do sistema voltem para ele, produzindo mais e mais emissão estimulada (Bagnato, 2001). A emissão do raio laser ocorre quando a concentração de fótons atinge o limite de refletividade de um dos espelhos.

Segundo Kitchen (2003), a radiação gerada pelos aparelhos a laser difere de fontes similares nos três aspectos seguintes:

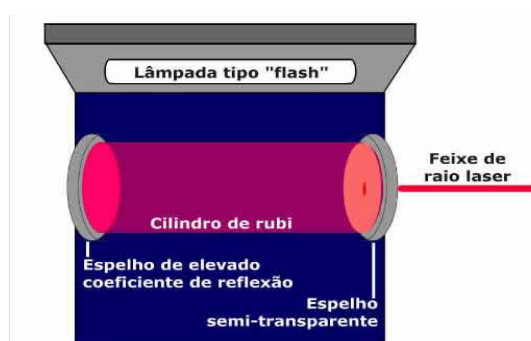


Figura 4: Esquema da produção do laser
 Fonte: <http://www.bpiropo.com.br/cf20050704.htm>

1. O laser é monocromático - o fóton incidente possui exatamente a mesma energia do fóton emitido, a figura (5) mostra os espectros de emissão de uma fonte incandescente como uma lâmpada e do laser. Note que o laser apresenta um único comprimento de onda ao contrário do espectro emitido pela outra fonte.



Figura 5: Esquema da produção do laser
 Fonte: <http://www.bpiropo.com.br/cf20050704.htm>

2. O laser é colimado – os fótons produzidos mantem-se paralelos, praticamente sem divergência em função da distância. Essa propriedade mantém o feixe concentrado, mesmo atravessando tecidos.

3. Sua radiação é coerente – as vibrações do laser se encontram em concordância de fase, seu trem de onda tem a mesma direção e comprimento de onda.

Segundo Agne (2004), os lasers são classificados em categorias (I, II, IIIA, IIIB, e IV), segundo intensidades e perigos:

I e II – são lasers de potência muito baixa, emitem radiação na faixa do infravermelho e não produzem efeitos na pele. São utilizados em leitores de CD e códigos de barras.

IIIA e IIIB – são lasers de potência média, emitem luz vermelha visível ou infravermelho invisível. São utilizados em laser terapia não produzindo efeitos térmicos significativos, embora sejam altamente prejudiciais à retina do olho.

IV- lasers de alta potência são utilizados em cirurgias para coagulação ou corte.

Na área da fisioterapia se utiliza laser de média potência abaixo da potência utilizada em cirurgias. A tabela I apresenta os principais tipos de lasers utilizados em fisioterapia.

Tabela I: Lasers utilizados em fisioterapia

Tipo de Laser	λ	Forma de emissão	Percepção do feixe	Potência
HeNe	632,8 nm	Contínua	Visível	2 a 15 mW
AlGaInP	660 nm	Contínua e pulsada	Visível	15 a 30 mW
AsGa	904 nm	Pulsada	Não Visível	15 a 30 mW
AsGaAl	830 nm	Contínua e pulsada	Não Visível	30 mW

Fonte: Agne, 2004 p.315.

A terapia por laser (fototerapia) por se constituir em uma modalidade recente muito ainda tem a ser explorada, porém permite que sejam observados efeitos como a analgesia local, ação antiedematosa e anti-inflamatória além da cicatrização de feridas. Segundo Agne (Agne, 2004).

Para descrever o efeito biológico da radiação laser, é habitual seguir um esquema segundo o qual a energia depositada nos tecidos produza uma ação primária ou direta, com efeitos locais do tipo foto térmico, fotoquímico e fotoelétrico ou bioelétrico. Esses efeitos locais provocam outros, os quais constituem a ação indireta (estímulo a microcirculação e aumento do trofismo), que poderá repercutir numa ação regional ou sistêmica.

O laser, devido as suas características possui uma infinidade de aplicações principalmente na área da laserterapia (Agne, 2004). Seus efeitos são amplos e permitem inúmeras aplicações e tratamentos, pois produzem uma série de efeitos diretos e indiretos nos tecidos vivos. Devemos, contudo tem um cuidado muito especial com a emissão da radiação laser nos olhos, pois produz queima da retina e, conseqüentemente, cegueira.

3.3 ULTRASSOM

O aparelho de ultrassom utilizado em fisioterapia, (fig. 1) consiste basicamente de uma fonte de ondas ultrassônicas com o objetivo de produzir aquecimento superficial ou profundo dos tecidos. Para a compreensão do seu funcionamento devemos primeiramente compreender a produção do ultrassom, e posteriormente entender como ocorre, no interior dos tecidos, a transformação de ondas mecânicas em calor.



Figura 1: Equipamento de ultrassom utilizado em fisioterapia com frequência de 1MHz e 3MHz

O **som** pode ser compreendido como uma vibração tridimensional, mecânica e longitudinal, ou seja, pode se propagar em todas as direções; desloca-se através das vibrações das partículas do meio e vibra essas partículas na mesma direção em que se desloca (onda longitudinal). A figura (2) mostra uma onda sonora e suas respectivas regiões de compressão e expansão.

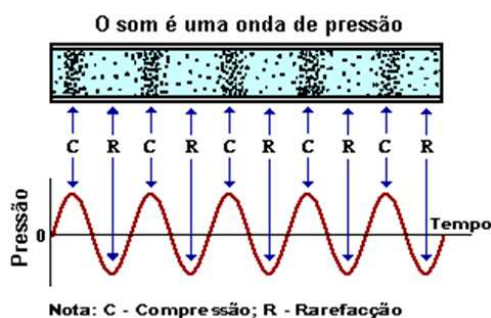


Figura 2: Ondas sonoras
 Fonte: <http://www.prof2000.pt>

Embora nossa audição tenha se desenvolvido durante a evolução a fim de nos proteger de predadores ou permitir a comunicação, não somos capazes de perceber toda a distribuição de frequências para o som. O ouvido humano é sensível aos sons com frequências compreendidas entre

20 Hz e 20.000 Hz. Quando a frequência está abaixo de 20 Hz, classifica-se como infrassônica ou subsônica e acima de 20.000 Hz como ultrassônica (Agne, 2004), de forma que não percebemos sons com frequências abaixo de 20 Hz, e acima de 20.000 Hz. A figura (3) representa as frequências audíveis ao ouvido humano.

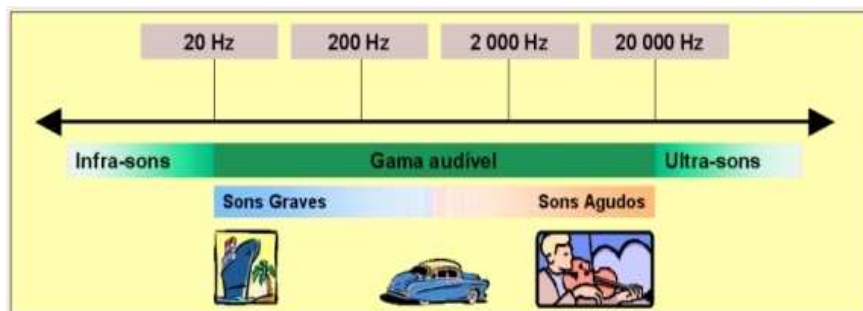


Figura 3: Frequência humana audível
Fonte: <http://www.prof2000.pt>

O aparelho de ultrassom utilizado em fisioterapia produz, dessa forma, ondas mecânicas longitudinais com frequências de 1MHz e 3 MHz. Para a produção das ondas sonoras, o aparelho possui um vibrador ultrassônico, denominado Transdutor. A figura (4) apresenta um transdutor de um aparelho de ultrassom.



Figura 4: Transdutor de um ultrassom

Transdutor é o termo que designa todo dispositivo que converte um tipo de energia em outro (Agne, 2004). Assim, um transdutor ultrassônico tem por finalidade transformar a energia elétrica em energia mecânica e vice-versa. Segundo Agne (2004) seu funcionamento se baseia no efeito piezoelétrico que descreve a propriedade de certos cristais naturais como o quartzo, que sobre determinada pressão mecânica emitem descargas elétricas. Caso os cristais sejam estimulados por sinais elétricos, temos o efeito piezoelétrico inverso, ou seja, descargas elétricas produzindo vibrações. A figura (5) mostra a vibração de um transdutor com frequência de 1 MHz, sendo possível observar a vibração através da oscilação da água colocada sobre o transdutor.



Foto 5: Vibração ultrassônica de um transdutor

Parâmetros do Ultrassom

Frequência

A frequência está diretamente relacionada com a absorção e a atenuação do feixe, de forma que, a maior frequência, o US será absorvido mais rapidamente, o que caracteriza o US de 3 MHz como superficial (Agne, 2004). O controle de frequência permite ao fisioterapeuta controlar a penetração do feixe de ultrassom e em consequência disso a profundidade onde é aplicado. Verifica-se que quanto maior a frequência do feixe ultrassônico menor a penetração nos tecidos. A figura (6) mostra a relação entre a frequência e a profundidade do feixe nos tecidos.

Desse modo, o feixe de ultrassom com frequência de 1 MHz produz calor profundo (cerca de 5 cm) enquanto o feixe de 3 MHz produz calor superficial (3 cm).

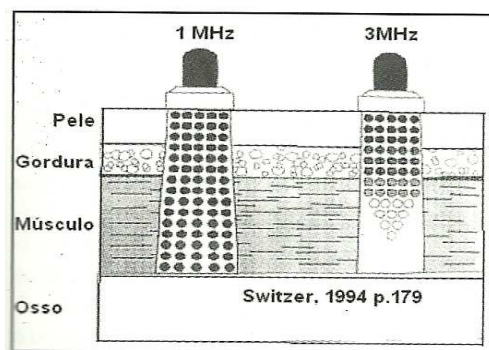


Figura 6: Penetração segundo a frequência do ultrassom
Fonte: AGNE, p. 287, 2004

Intensidade

O feixe de ultrassom transporta a energia produzida pela vibração do transdutor, desse modo, podemos estabelecer a potência transmitida sob uma determinada área. A unidade de potência utilizada em feixes de ultrassom é dada em W/cm^2 . A maioria dos aparelhos utilizados em terapia possuem intensidades que variam de $0,1 W/cm^2$ a $3 W/cm^2$.

Efeitos do Ultrassom

Quando utilizamos um aparelho de ultrassom no organismo, estamos transformando energia elétrica em energia cinética que dependendo do tipo de tecido, da frequência e da potência, será transformada em energia térmica. Um feixe de ultrassom produz nos tecidos em que se propagam dois efeitos: **efeitos térmicos e não térmicos**. É importante que compreendamos plenamente esses mecanismos, já que alguns têm efeito estimulante no processo de regeneração da ferida, enquanto outros são potencialmente perigosos (Kitchen, 2003).

Efeitos térmicos – a transformação de energia cinética em térmica, através de um feixe de ultrassom, pode ocorrer tanto através das fases de compressão e expansão das ondas sonoras produzindo atrito intermolecular e movimento do líquido eletrolítico, quanto pela sua absorção. O grau de absorção da energia depende do coeficiente de absorção dos tecidos, da diferença de impedância entre diferentes tecidos, da frequência do feixe ultrassônico, da intensidade e do tempo de aplicação do ultrassom.

Em geral, os tecidos ricos em proteínas absorvem a energia das ondas sonoras a uma taxa muito superior se comparados com a água, o sangue e a gordura, tecidos em que a absorção é pequena. A tabela I apresenta o conteúdo de proteína e a respectiva absorção do ultrassom em diferentes tecidos.

Tabela I: conteúdo de proteína e absorção de US em vários tecidos.

Sangue	Menor conteúdo de proteína	Menor absorção de US
Gordura	↓	↓
Nervo		
Músculo		
Pele		
Tendão		
Cartilagem		
Osso	Maior conteúdo de proteína	Maior absorção de US

Fonte: LOW, 2001. p.197

Efeitos não térmicos – os efeitos não térmicos são citados por Agne (Agne, 2004, p. 295).

- Vasodilatação da área com hipertermia e aumento do fluxo sanguíneo;
- Aumento da permeabilidade celular e a micro massagem produzida pelo ultrassom, auxilia no retorno venoso e linfático, favorecendo a reabsorção de edemas;
- Incremento do metabolismo local, com estimulação das funções celulares e da capacidade de regeneração celular;
- Incremento da flexibilidade dos tecidos ricos em colágeno, com diminuição da rigidez articular e da contratura, associada a cinesioterapia;
- Efeito analgésico e espasmolítico.

Cavitação

O ultrassom pode causar a formação de bolhas ou cavidades em fluidos contendo gases. Em altas amplitudes e pressões as bolhas podem explodir produzindo pressões acima de 1.000 Mpa e temperaturas acima de 10.000K (Kitchen, 2003). Esse processo pode levar ao colapso de células além da formação de uma grande quantidade de radicais livres.

Impedância acústica

Podemos definir a impedância acústica como a dificuldade ou resistência de um meio a passagem do som. A impedância acústica está relacionada com a velocidade com que uma partícula se move no momento de sua vibração e a pressão a que está submetida.

A impedância acústica (Z) é igual ao produto da densidade do meio (ρ) pela velocidade do ultrassom nesse meio (v).

$$Z = \rho \cdot v$$

Quando um feixe de ultrassom se propaga em um meio com impedância acústica Z_1 e encontra outro meio com impedância acústica diferente Z_2 , poderá ocorrer reflexão de parte do feixe. A intensidade do feixe refletido é diretamente proporcional à diferença acústica entre os meios, ou seja, quanto mais distintas as impedâncias acústicas entre os meios, maior será a reflexão e conseqüentemente o poder de penetração. A diferença de impedância é dada pela seguinte relação (Agne, 2004):

$$R = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2}$$

Se a diferença acústica é grande como a que ocorre entre o ar e a pele, a proporção de ultrassom refletido é próxima de 100%, impedindo a passagem do feixe para os tecidos. O gel utilizado entre o transdutor e a pele tem dessa forma a finalidade de conduzir a energia do feixe ultrassônico sem grandes reflexões, pois possui uma impedância acústica muito similar a dos tecidos humanos.

Deve ser observada aqui a diferença entre o ultrassom utilizado em fisioterapia para fins terapêuticos e o ultrassom utilizado em diagnósticos por imagem. Enquanto o ultrassom terapêutico tem por fim grande penetração e total absorção pelos tecidos, o ultrassom de diagnóstico produz imagens através das reflexões das ondas em diferentes impedâncias entre os tecidos e posterior captação pelo transdutor (efeito piezelétrico).

3.4 ELETROESTIMULADORES

Segundo Agne (2004), a estimulação elétrica pode produzir contração muscular, tanto para complemento da atividade que esteja reduzida ou limitada por uma patologia, quanto na medicina esportiva para potencialização muscular.

Diferentemente da TENS, a estimulação muscular através de estímulos elétricos é realizada por aplicações de pulsos com ascensão brusca. Normalmente são utilizados como eletroestimuladores na Fisioterapia, o F.E.S (Estimulação Elétrica Funcional) e a Corrente Russa.

Estimulação Elétrica Funcional (F.E.S)

A estimulação elétrica funcional (*functional Electrical Stimulation – FES*) é uma técnica destinada a produzir contrações mediante trens de impulsos em grupos musculares que desencadearão movimentos e atividades da vida diária (Agne, 2004). O FES tem por finalidade a ativação da musculatura com fins funcionais¹⁵, isto é, seu objetivo é a contração de músculos desprovidos de controle motor. Ainda segundo Agne (2004), a FES é uma modalidade de eletroterapia aplicada em músculos plégicos, decorrentes de lesões do neurônio motor superior.

Corrente Russa

A Corrente Russa caracteriza-se como eletroterapia de contração muscular com fins de fortalecimento muscular. A eletroestimulação quando adequadamente selecionada, poderá aumentar a força muscular em até 40%, o impulso em salto vertical em 10 cm e proporcionar um aumento no diâmetro da secção transversal das miofibrilas em torno de 10% (Agne, 2004).

A estimulação elétrica russa (Fig. 1) tornou-se popular após os resultados obtidos pelo fisiologista russo Yadov Kots. Seus estudos demonstraram um aumento da força em 40% em atletas de elite como resultado de uma contração máxima, visto que na contração voluntária nunca atingimos o máximo de contração.

Os parâmetros iniciais propostos por Kots estabelecem 10 s de excitação, seguidos de 50 s de repouso, repetidos durante 10 min. A corrente empregada é alternada de frequência de 2500 Hz (Agne, 2004).

Segundo Agne (2004), é possível extrair algumas conclusões sobre a eletroestimulação:

1. A eletroestimulação aumenta a força muscular quando comparada com grupos que não realizam exercício.
2. As diferenças significativas ou não, encontradas entre grupos submetidos a regimes similares de eletroestimulação e ao exercício voluntário ainda são questionáveis, em função principalmente da metodologia empregada.
3. Na eletroestimulação, o ganho de força se relaciona com a carga do estímulo (intensidade da estimulação elétrica).

¹⁵ Entende-se como fins funcionais andar, ficar em pé, pegar objetos, mudar de postura, coordenar movimentos entre outros.

Segundo Agne (2004) a eletroestimulação não tem aplicação somente na reabilitação de enfermos. Essa técnica de aplicação de estímulos elétricos tem ocupado atualmente um destaque na potencialização de atletas e estimulação da musculatura com fins estéticos. Infelizmente, em muitas clínicas estéticas a eletroestimulação é dada como elemento principal, quando na verdade trata-se de um auxiliar no tratamento. Somente através de uma ampla análise do quadro geral do paciente somando aos conhecimentos de fisiologia e do equipamento é possível estabelecer um tratamento adequado.

Quanto ao tempo e modos de aplicação, é possível encontrar várias propostas na literatura, mas cabe ao fisioterapeuta, a partir de uma criteriosa inspeção com análise da consistência, volume, força muscular, amplitude articular e presença ou não de dor estabelecer um determinado tratamento.



Figura 1: FES e Corrente Russa

3.6 ELETROANALGESIA

O conceito de Eletroanalgesia se refere à aplicação de corrente elétrica para a redução de dores. A estimulação Elétrica Transcutânea é orientada para estimular as fibras nervosas que transmitem sinais ao cérebro e são interpretadas pelo tálamo como dor (Agne, 2004). Desde os tempos antigos, a utilização de peixes elétricos como forma de terapia, podem, segundo Agne (2004), ser evidenciadas. A figura (1) mostra o esquema de condução dos estímulos da dor.

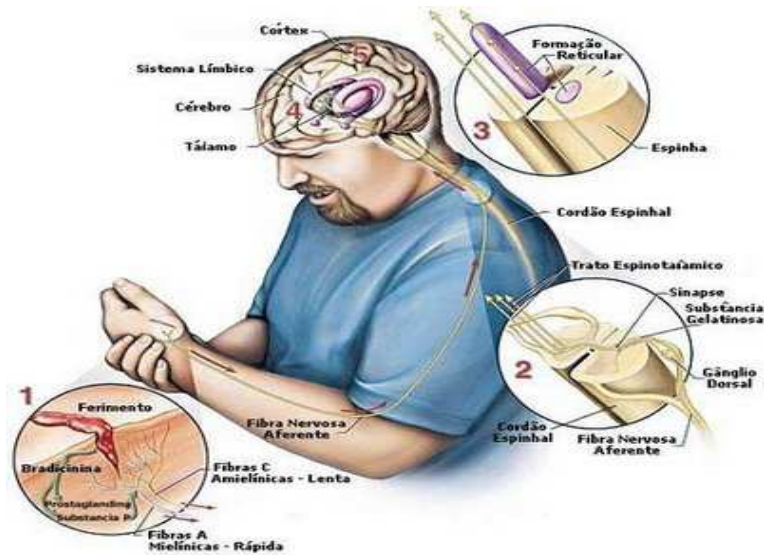


Figura 1: Estímulos da dor
Fonte: <http://extremos-biobio.blogspot.com/2009/11/mecanismo-da-dor.html>

T.E.N.S – Estimulação elétrica nervosa transcutânea

O termo T.E.N.S provém das iniciais do termo em inglês “*Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation*”, que significa Estimulação Elétrica Nervosa Transcutânea (Agne, 2004). Segundo Kitchen (2003), durante a aplicação do T.E.N.S (fig. 2), são geradas correntes pulsadas através de um gerador portátil, que são aplicadas na pele intacta através de placas condutoras denominadas eletrodos. A função dos pulsos de corrente é estimular as fibras nervosas grossas A-alfa mielinizadas de condução rápida, inibindo o estímulo de condução da dor.



Figura 2: Aparelho de TENS com seus eletrodos

Segundo Agne (2004), são parâmetros de um pulso elétrico de TENS:

- Amplitude ou intensidade (mA)
- Duração do pulso (ms)
- Intervalo entre pulsos (ms)
- Frequência dos pulsos (Hz)
- Forma do pulso: bidirecional e assimétrica

Na maioria dos casos, a TENS funciona mediante uma corrente alternada com oscilações quadradas positivas com um pico negativo (fig. 3) que estimulam os receptores nervosos ao mesmo tempo em que impedem a sua acomodação. Estes impulsos também incrementam o fluxo de sangue e eliminam os elementos de dejetos (Agne, 2004).

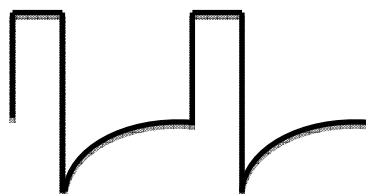


Figura 4: Forma de um pulso de TENS

Quanto à colocação dos eletrodos, várias são as posições dependendo das indicações e possibilidades. Não devemos esquecer que existe uma série de variáveis que podem interferir nos estímulos elétricos (obesidade, processo inflamatório, consistência da pele, fobia pela eletroestimulação, tipo de dor, etc.) (Agne, 2004). A figura 5 apresenta algumas possibilidades de posicionamento dos eletrodos.

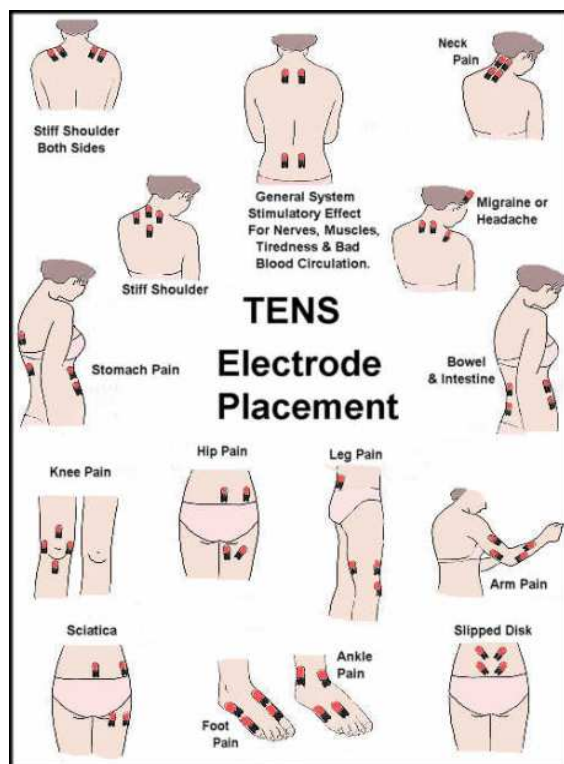


Figura 5: Posições dos eletrodos no TENS

Fonte: <http://www.moondragon.org/health/therapy/tens.html>

Corrente Interferencial

A corrente interferencial apresenta segundo Agne:

A Corrente Interferencial ou Nemectrodínica descrita por Nemeç na Áustria nos anos 50 e utilizada por D'Arsonval, Kots e Bernard que veio a enriquecer a eletroterapia no setor da baixa frequência com uma variante totalmente nova e de grande interesse (2004, p.142).

Seu princípio baseia-se na aplicação de dois circuitos cruzados de baixa intensidade, produzindo, assim, por interferência, efeitos de reforço do circuito em pontos internos, longe dos pontos de contato dos eletrodos (fig. 6). São aplicados ao paciente quatro eletrodos, sendo cada par formando parte de um circuito independente (Agne, 2004).

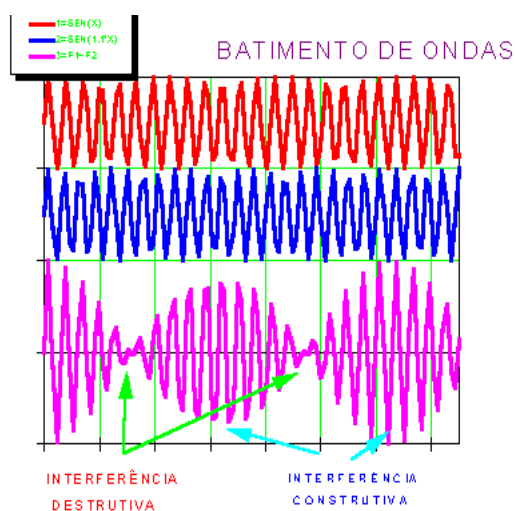


Figura 6: Esquema de interferência de campos cruzados
Fonte: <http://www.wgate.com.br/conteudo/medicinaesaudefisioterapia>

Sua aplicação permite atingir pontos desejáveis sem maiores consequências nos tecidos adjacentes. A figura (7) mostra a aplicação e a posição de aplicação dos eletrodos por eletroterapia através do interferencial.



Figura 7: Aplicação de eletrodos no interferencial
Fonte: <http://www.jornallivre.com.br/65942/>

4. ATIVIDADES EXPLORATÓRIAS VIRTUAIS

4.1 Applet sobre estados físicos e mudanças de estado

Acesse o site <http://divulgarciencia.com/categoria/applets/page/2/> e clique na animação “**simulador: estados físicos e as mudanças de estado**”.

- 1) Clique para selecionar as moléculas de água. Observe a estrutura de duas moléculas de hidrogênio e uma de oxigênio. Sem mexer na temperatura clique na sequência em sólido, líquido e gás. O que você observa quanto à agitação molecular e a interação entre as moléculas? Porque mesmo no estado sólido as moléculas não ficam paradas?
- 2) Reinicie a animação e selecione água novamente. Partindo do estado sólido forneça calor (clique na parte de baixo e deslocando a barra para cima), observe o aumento da temperatura. Aqueça até atingir 1000 K. O que você observa durante o aquecimento?
- 3) Agora retire o calor até atingir a temperatura de 0 K. O que você observa durante a redução da temperatura? Porque ao se atingir a temperatura de 0 K as moléculas param de se movimentar? (claro que aquele “gelinho” que aparece é uma representação muito simplista do 0 K e que não é tão simples atingir uma temperatura tão baixa).
- 4) O que o “gelinho” e o “foguinho” representam em termos de calor?

4.2 Applet sobre ondas

Acesse o site: http://www.fisicanimada.net.br/?q=ondas/propagacao_ondas e responda as seguintes questões:

- 1) Regule a amplitude para 1m, a frequência para 1Hz e a espessura da corda (string thickness) em 2 cm e de play. Que tipo de onda se formou? Por quê? O que representa o ponto vermelho? Qual é o movimento descrito pelo ponto vermelho? Qual o comprimento de onda formado (wavelength)?

- 2) Agora mude a frequência para 3 Hz. O que você observa? Qual o valor que assume o comprimento de onda?

- 3) Regule agora a amplitude para 0,5 m e a frequência para 1 Hz. Qual o valor observado para o comprimento de onda?

- 4) Com base na animação, qual a relação que se pode estabelecer entre frequência e comprimento de onda? E entre comprimento de onda e amplitude?

4.3 Applet sobre ultrassom

Acesse o site <http://www.artesmedicas.com/piezoelasticidade.htm> e responda as perguntas abaixo.

- a) Clicando na seta "repetir" é possível uma compressão no cristal e a emissão de luz pela lâmpada. Por que isso é possível?

- b) Clicando em efeito piezolétrico inverso e repetir você pode observar que agora um estímulo elétrico (bateria) produz uma deformação do cristal. Por que isso ocorre?

- c) Clicando em ultrassom é possível perceber uma oscilação permanente do cristal? O que representa a onda que incide no cristal? O que essa onda produz?

4.4 Applet sobre corrente elétrica

Acesse o site <http://www.labvirt.fe.usp.br/applet.asp?time=18:25:09&lom=10429> e clique em ver simulação.

- 1) Você pode observar que os vetores apontam para a carga positiva e se afastam da carga negativa. Clicando com o botão direito é possível colocar mais cargas ou mais partículas. O que esses vetores representam? O que podemos afirmar a respeito desses vetores?
- 2) Porque ao se aproximar uma carga de uma das partículas o vetor fica maior e se afastando o vetor fica menor?

Acesse o site <http://www.ensinolivre.pt/?q=node/184> e clique em Kit de construção de circuitos DC.

- 1) Crie um circuito contendo uma bateria, um resistor e uma lâmpada. O que as “bolinhas” representam?
- 2) Agora clique com o botão direito na bateria e aumente a voltagem. O que ocorre com o brilho da lâmpada? E o movimento das bolinhas é afetado? Como?
- 3) Reinicie a animação e construa agora um circuito com um interruptor, uma lâmpada, um resistor e uma bateria. Qual a finalidade do interruptor nesse circuito? Clique agora no resistor e aumente sua resistência. O que é possível observar?
- 4) Coloque agora um amperímetro no circuito e um voltímetro. Não se esqueça de que o amperímetro deve ser ligado em série e o voltímetro em paralelo. O que é possível ler nesses instrumentos?

REFERÊNCIAS

ABDALLA, M. C.B. Sobre o Discreto Charme das Partículas Elementares. *Física na Escola*, v. 6, n. 1, 2005.

AGNE, Jones E. *Eletrotermoterapia: teoria e prática*. Santa Maria: Pallotti, 2004.

ALGO SOBRE. Radiação infravermelha. Disponível em <<http://www.algosobre.com.br/fisica/radiacao-infravermelha.html>>. Acesso em: 12 de mar. 2011.

BLOGS DE CIÊNCIA. Simulador: Estados físicos e mudanças de estado. Disponível em <<http://divulgarciencia.com/categoria/applets/page/2/>>. Acesso em: 05 abr. 2011.

BRAIN. M. Como funcionam as ondas de rádio. [tradução de HowStuffWorks Brasil]. Disponível em <<http://www.abert.org.br/site/images/stories/pdf/comofuncionamasondasderadio.pdf>>. Acesso em: 12 de mar. 2011.

CAVALHEIRO, C.A. Espectro visível. Disponível em <<http://www.infoescola.com/fisica/espectro-visivel/>>. Acesso em 18 de mar. 2011.

CIÊNCIA E TECNOLOGIA. O que é radiação de micro ondas? Disponível em <<http://cienctec.com.br/wordpress/index.php/o-que-e-radiacao-de-microondas/>>. Acesso em: 05 abr. 2011.

DURÁN, José Enrique Rodas. *Biofísica – fundamentos e aplicações*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003.

EISBERG, R.; RESNICK, R. *Física Quântica – Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas*. Tradução de Paulo Costa Ribeiro, Enio Frota da Silveira e Marta Feijó Barroso. 13. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

FÍSICA ANIMADA.NET.BR. Propagação de ondas. Disponível em <http://www.fisicanimada.net.br/?q=ondas/propagacao_ondas>. Acesso em: 20 abr. 2011.

GARCIA, Eduardo. A.C. *Biofísica*. – 2.ed. – São Paulo: Sarvier, 2002

GASPAR, Alberto. *Física*. São Paulo. Editora Ática, 2001.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física 4 – Ótica e Física Moderna*. [Tradução de Denise Helena da Silva Sotero, Gerson Bazo Costamilan, Luciano Videira Monteiro e Ronaldo Sérgio de Biasi]. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1995.

KITCHEN, Sheila. *Eletroterapia: prática baseada em evidências*. [Tradução da il.ed. original Libia Breterniz Ribeiro; revisão científica Raquel Casarotto]. -2ed. – Barueri, SP: Manole, 2003.

LABORATÓRIO DIDÁTICO VIRTUAL. Cargas e campos. Disponível em <<http://www.labvirt.fe.usp.br/applet.asp?time=18:25:09&lom=10429>>. Acesso em: 2 mai. 2011.

LOW, J.; REED, A. *Eletroterapia Explicada: Princípios e Prática*. – 3. Ed. - São Paulo: Manole, 2001.

MEDEIROS, A. Entrevista com o Conde Rumford. *Física na Escola*, v. 10, n. 1, 2009.

MORAES, M. B. S. A.; TEIXEIRA, R.M.R. Circuitos elétricos: novas e velhas tecnologias como facilitadoras de uma aprendizagem significativa no nível médio. – Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2006.

MOREIRA, M.A. *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: EPU, 1999.

MOREIRA, M.A. *Comportamentalismo, Construtivismo E Humanismo*. Porto Alegre, 2008.

MOREIRA, M.A.; CABALLERO, C. *A teoria da aprendizagem significativa*. Porto Alegre/Burgos, 2008.

NOVAS TECNOLOGIAS LIGADAS À SAÚDE. Radioterapia. Disponível em <<http://novastecnologiasaude.blogspot.com/search/label/Radioterapia>>. Acesso em: 25 abr. 2011.

OKUNO, E.; CALDAS, I.L.; CHOW, C. *Física para ciências biológicas e biomédicas*. – 2.ed. - São Paulo: Harbra, 1986.

PHET. Kit de construção de circuitos DC. Disponível em <<http://www.ensinolive.pt/?q=node/184>>. Acesso em: 15 abr. 2011.

PRADO JR. H. Efeito piezoelétrico. O princípio do ultrassom. Disponível em <<http://www.artesmedicas.com/piezoelasticidade.htm>>. Acesso em: 20 abr. 2011.

RAMALHO JÚNIOR, *Os fundamentos da física*/Francisco Ramalho Júnior, Nicolau Gilberto Ferraro, Paulo Antônio de Toledo Soares. – v. 2, 3 - 9. Ed. São Paulo: Moderna, 2007.

SEELING. M. Radiação Ultravioleta. Jun, 2003. Disponível em <<http://www.segurancaetrabalho.com.br/download/rad-uv-seelig.pdf>>. Acesso em 18 mar. 2011.

UFRGS. Física Moderna. A descoberta dos raios X. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod06/m_s01.html>. Acesso em 20 abr. 2011.

UFRGS. Física Moderna. Capítulo 5 - Raios-X. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod05/m_s01.html>. Acesso em 20 abr. 2011.

BAGNATO, Vanderley, S. Os Fundamentos da Luz Laser. *Física na Escola*, v. 2, n. 2, 2001.

YOUNG, Hugh D. Física II: termodinâmica e Ondas/ Young e Freedman; [tradução de Cláudia Santana Martins]. 12.ed. – São Paulo: Addison Wesley, 2008.

YOUNG. a, Hugh D. Física III: *eletromagnetismo*/ Young e Freedman; [tradução de Sonia Midori Yamamoto]. – São Paulo: Addison Wesley, 2009.

YOUNG. b, Hugh D. Física IV: *ótica e física moderna*/ Young e Freedman; [tradução de Cláudia Martins]. – São Paulo: Addison Wesley, 2009.

Textos de Apoio ao Professor de Física

Os textos abaixo relacionados encontram-se livremente disponíveis em formato pdf no endereço

http://www.if.ufrgs.br/ppgenfis/mostra_ta.php

- nº 13 Introdução à Mecânica Quântica. Notas de curso
Ileana Maria Greca e Victoria Elnecave Herscovitz, 2002.
- nº 15 O quarto estado da matéria
Luiz Fernando Ziebell, 2004.
- v.16, n.1 Atividades experimentais de Física para crianças de 7 a 10 anos de idade
Carlos Schroeder, 2005.
- v.16, n.2 O microcomputador como instrumento de medida no laboratório didático de Física
Lucia Forgiarini da Silva e Eliane Angela Veit, 2005.
- v.16, n.3 Epistemologias do Século XX
Neusa Teresinha Massoni, 2005.
- v.16, n.5 Relatividade: a passagem do enfoque galileano para a visão de Einstein
Jeferson Fernando Wolff e Paulo Machado Mors, 2005.
- v.16, n.6 Trabalhos trimestrais: pequenos projetos de pesquisa no ensino de Física
Luiz André Mützenberg, 2005.
- v.17, n.1 Circuitos elétricos: novas e velhas tecnologias como facilitadoras de uma
aprendizagem significativa no nível médio
Maria Beatriz dos Santos Almeida Moraes e Rejane Maria Ribeiro-Teixeira, 2006.
- v.17, n.2 A estratégia dos projetos didáticos no ensino de física na educação de jovens e
adultos (EJA)
Karen Espindola e Marco Antonio Moreira, 2006.
- v.17, n.3 Introdução ao conceito de energia
Alessandro Bucussi, 2006.

- v.17, n.4 Roteiros para atividades experimentais de Física para crianças de seis anos de idade
Rita Margarete Grala, 2006.
- v.17, n.5 Inserção de Mecânica Quântica no Ensino Médio: uma proposta para professores
Márcia Cândida Montano Webber e Trieste Freire Ricci, 2006.
- v.17, n.6 Unidades didáticas para a formação de docentes das séries iniciais do ensino
fundamental
Marcelo Araújo Machado e Fernanda Ostermann, 2006.
- v.18, n.1 A Física na audição humana
Laura Rita Rui, 2007.
- v.18, n.2 Concepções alternativas em Óptica
Voltaire de Oliveira Almeida, Carolina Abs da Cruz e Paulo Azevedo Soave, 2007.
- v.18, n.3 A inserção de tópicos de Astronomia no estudo da Mecânica em uma abordagem
epistemológica
Érico Kemper, 2007.
- v.18, n.4 O Sistema Solar – Um Programa de Astronomia para o Ensino Médio
Andréia Pessi Uhr, 2007.
- v.18, n.5 Material de apoio didático para o primeiro contato formal com Física; Fluidos
Felipe Damasio e Maria Helena Steffani, 2007.
- v.18, n.6 Utilizando um forno de microondas e um disco rígido de um computador como
laboratório de Física
Ivo Mai, Naira Maria Balzaretti e João Edgar Schmidt, 2007.
- v.19, n.1 Ensino de Física Térmica na escola de nível médio: aquisição automática de dados
como elemento motivador de discussões conceituais
Denise Borges Sias e Rejane Maria Ribeiro-Teixeira, 2008.
- v.19, n.2 Uma introdução ao processo da medição no Ensino Médio
César Augusto Steffens, Eliane Angela Veit e Fernando Lang da Silveira, 2008.

- v.19, n.3 Um curso introdutório à Astronomia para a formação inicial de professores de Ensino Fundamental, em nível médio
Sônia Elisa Marchi Gonzatti, Trieste Freire Ricci e Maria de Fátima Oliveira Saraiva, 2008.
- v.19, n.4 Sugestões ao professor de Física para abordar tópicos de Mecânica Quântica no Ensino Médio
Sabrina Soares, Iramaia Cabral de Paulo e Marco Antonio Moreira, 2008.
- v.19, n.5 Física Térmica: uma abordagem histórica e experimental
Juleana Boeira Michelena e Paulo Machado Mors, 2008.
- v.19, n.6 Uma alternativa para o ensino da Dinâmica no Ensino Médio a partir da resolução qualitativa de problemas
Carla Simone Facchinello e Marco Antonio Moreira, 2008.
- v.20, n.1 Uma visão histórica da Filosofia da Ciência com ênfase na Física
Eduardo Alcides Peter e Paulo Machado Mors, 2009.
- v.20, n.2 Relatividade de Einstein em uma abordagem histórico-fenomenológica
Felipe Damasio e Trieste Freire Ricci, 2009.
- v.20, n.3 Mecânica dos fluidos: uma abordagem histórica
Luciano Dernadin de Oliveira e Paulo Machado Mors, 2009.
- v.20, n.4 Física no Ensino Fundamental: atividades lúdicas e jogos computadorizados
Zilk M. Herzog e Maria Helena Steffani, 2009.
- v.20, n.5 Física Térmica
Nelson R. L. Marques e Ives Solano Araujo, 2009.
- v.20, n.6 Breve introdução à Física e ao Eletromagnetismo
Marco Antonio Moreira, 2009.
- v.21, n.1 Atividades experimentais de Física à luz da epistemologia de Laudan: ondas mecânicas no ensino médio
Lizandra Botton Marion Morini, Eliane Angela Veit, Fernando Lang da Silveira, 2010.

- v.21, n.2 Aplicações do Eletromagnetismo, Óptica, Ondas, da Física Moderna e Contemporânea na Medicina (1ª Parte)
Mara Fernanda Parisoto e José Túlio Moro, 2010.
- v.21, n.3 Aplicações do Eletromagnetismo, Óptica, Ondas, da Física Moderna e Contemporânea na Medicina (2ª Parte)
Mara Fernanda Parisoto e José Túlio Moro, 2010.
- v.21, n.4 O movimento circular uniforme: uma proposta contextualizada para a Educação de Jovens e Adultos (EJA)
Wilson Leandro Krummenauer, Sayonara Salvador Cabral da Costa e Fernando Lang da Silveira, 2010
- v.22, n.6 O átomo grego ao Modelo Padrão: os indivisíveis de hoje
Lisiane Araujo Pinheiro, Sayonara Salvador Cabral da Costa e Marco Antonio Moreira, 2011
- v.23, n.1 Situações-problema como motivação para o estudo de Física no 9º ano
Terrimar I. Pasqualetto , Rejane M. Ribeiro-Teixeira e Marco Antonio Moreira, 2012
- v.23, n.4 Ensinando Física através do radioamadorismo
Gentil César Bruscato e Paulo Machado Mors, 2012
- v.23, n.5 Física na cozinha
Lairane Rekovsky, 2012
- v.24, n.1 Ensinando Física Térmica com um refrigerador
Rodrigo Poggia e Maria Helena Steffani, 2013
- v.24, n.2 Einstein e a Teoria da Relatividade Especial: uma abordagem histórica e introdutória
Melina Silva de Lima