Física Aplicada

André Felippe Vieira da Cunha

INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PERNAMBUCO

Recife - PE
2016

Presidência da República Federativa do Brasil

Ministério da Educação

Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica

Este caderno foi elaborado em parceria entre o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – Campus Recife e a Universidade Federal de Santa Maria para a Rede e-Tec Brasil.

Equipe de Elaboração
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – IFPE

Reitor
Anália Keila Rodrigues Ribeiro/IFPE

Direção Geral
Fernanda Maria Dornellas Câmara/IFPE

Coordenação Institucional
Fabíola Nascimento dos Santos Paes/IFPE
Fábia Gonçalves de Melo Torres/IFPE

Coordenação de Curso
Flaviana Ferraz Xavier/IFPE

Professor-autor
André Felippe Vieira da Cunha/IFPE

Equipe de Acompanhamento e Validação
Colégio Técnico Industrial de Santa Maria – CTISM

Coordenação Institucional
Paulo Roberto Colusso/CTISM

Coordenação de Design
Erika Goellner/CTISM

Revisão Pedagógica
Elisiane Bortoluzzi Scrimini/CTISM
Jaqueline Müller/CTISM

Revisão Textual
Carlos Frederico Ruviaro/CTISM

Revisão Técnica
Marcos André dos Santos/CTISM

Ilustração
Marcel Santos Jacques/CTISM
Ricardo Antunes Machado/CTISM

Diagramação
Cássio Fernandes Lemos/CTISM
Leandro Felipe Aguilar Freitas/CTISM
Tagiane Mai/CTISM

C972f CUNHA, André Felippe Vieira da.
Física Aplicada / André Felippe Vieira da Cunha. – Recife: IFPE, 2016.
138 p. : il.

Inclui bibliografia
Rede e-Tec Brasil

ISBN: 978-85-9450-004-5

1. Física. 2. Energia. 3. Calor. 4. Óptica. 5. Ondas. 6. Eletricidade. I. Título.

CDD: 530

Apresentação e-Tec Brasil

Prezado estudante,
Bem-vindo a Rede e-Tec Brasil!

Você faz parte de uma rede nacional de ensino, que por sua vez constitui uma das ações do Pronatec – Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego. O Pronatec, instituído pela Lei nº 12.513/2011, tem como objetivo principal expandir, interiorizar e democratizar a oferta de cursos de Educação Profissional e Tecnológica (EPT) para a população brasileira propiciando caminho de o acesso mais rápido ao emprego.

É neste âmbito que as ações da Rede e-Tec Brasil promovem a parceria entre a Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC) e as instâncias promotoras de ensino técnico como os Institutos Federais, as Secretarias de Educação dos Estados, as Universidades, as Escolas e Colégios Tecnológicos e o Sistema S.

A educação a distância no nosso país, de dimensões continentais e grande diversidade regional e cultural, longe de distanciar, aproxima as pessoas ao garantir acesso à educação de qualidade, e promover o fortalecimento da formação de jovens moradores de regiões distantes, geograficamente ou economicamente, dos grandes centros.

A Rede e-Tec Brasil leva diversos cursos técnicos a todas as regiões do país, incentivando os estudantes a concluir o ensino médio e realizar uma formação e atualização contínuas. Os cursos são ofertados pelas instituições de educação profissional e o atendimento ao estudante é realizado tanto nas sedes das instituições quanto em suas unidades remotas, os polos.

Os parceiros da Rede e-Tec Brasil acreditam em uma educação profissional qualificada – integradora do ensino médio e educação técnica, – é capaz de promover o cidadão com capacidades para produzir, mas também com autonomia diante das diferentes dimensões da realidade: cultural, social, familiar, esportiva, política e ética.

Nós acreditamos em você!
Desejamos sucesso na sua formação profissional!

Ministério da Educação
Janeiro de 2016

Nosso contato
etecbrasil@mec.gov.br

Indicação de ícones

Os ícones são elementos gráficos utilizados para ampliar as formas de linguagem e facilitar a organização e a leitura hipertextual.

Atenção: indica pontos de maior relevância no texto.

Saiba mais: oferece novas informações que enriquecem o assunto ou "curiosidades" e notícias recentes relacionadas ao tema estudado.

Glossário: indica a definição de um termo, palavra ou expressão utilizada no texto.

Mídias integradas: sempre que se desejar que os estudantes desenvolvam atividades empregando diferentes mídias: vídeos, filmes, jornais, ambiente AVEA e outras.

Atividades de aprendizagem: apresenta atividades em diferentes níveis de aprendizagem para que o estudante possa realizá-las e conferir o seu domínio do tema estudado.

Sumário

Palavra do professor-autor

Prezado(a) estudante!

A física nos permite investigar os vários fenômenos naturais que circundam a vida humana e o universo. Permite desenvolver novas fontes de energia para o uso na vida cotidiana, contribui para transformar e criar novos materiais ou inventar produtos e tecnologias. Nesse contexto, o material didático de "Física Aplicada" tem o princípio de instrução e orientação, que irá encaminhá-lo a interagir com assuntos relacionados ao seu dia a dia e, principalmente, à sua formação profissional.

Espera-se que o ensino de física na modalidade a distância venha a contribuir para essa formação e permita a você, aluno, a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação.

Esse caderno está dividido em sete aulas, sendo que a primeira delas apresenta as grandezas da física e as unidades de medida da física em geral. As aulas seguintes abordam temas necessários para aplicações durante o curso na área de Sistemas de Energias Renováveis. Portanto, caro(a) estudante, o material apresentado é objetivo.

Bons estudos!
André Felippe Vieira da Cunha

Apresentação da disciplina

Esta disciplina, Física Aplicada, faz parte da grade curricular do curso de Sistemas de Energia Renovável da e-Tec Brasil – Escola Técnica Aberta do Brasil, que será ministrada na modalidade a distância.

Na elaboração desse material didático, para o ensino de Física, procuramos produzi-lo de tal maneira que viesse auxiliar tanto o professor como o aluno no cumprimento dos princípios enunciados na LDB, das Diretrizes Curriculares Nacionais do Ensino Médio e da SEMTEC/MEC – 1998.

Esse caderno foi dividido em sete aulas, dentro de cada aula é abordado um conteúdo que atende o perfil do curso de Sistemas de Energia Renovável, onde a teoria é apresentada de maneira direta, com uma linguagem clara e acessível ao aluno de ensino médio. O texto interage com o aluno e estimula a leitura.

Após o desenvolvimento das ideias, sempre que possível, são apresentados exercícios resolvidos, que estão relacionados ao cotidiano e ao conteúdo abordado.

Ao final de cada aula, serão propostas atividades de reflexão e investigação por meio dos fóruns do ambiente virtual do Moodle. O acompanhamento e a orientação do professor formador e de tutores a distância para o desenvolvimento do conteúdo e das atividades são essenciais e evitam incompreensões, tornando as atividades mais produtivas e fluentes.

Projeto instrucional

Disciplina: Física Aplicada (carga horária: 60h).

Ementa: Mecânica. Energia. Termologia (termometria, dilatação térmica, calorimetria, mudanças de fase, gases e termodinâmica). Óptica (princípios da óptica geométrica, reflexão da luz, refração da luz, óptica da visão). Ondas. Eletricidade.

AULA	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	MATERIAIS	CARGA HORÁRIA (horas)
1. Grandezas físicas	Aprender a transformar unidades usando o método que julgar mais adequado, conhecendo o sistema de unidades e a ordem de grandeza da grandeza física.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: *links*, exercícios, atividades, vídeo conferências, material de vídeo e áudio.	06
2. Energia mecânica	Identificar as fontes de energia existentes na natureza.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: *links*, exercícios, atividades, vídeo conferências, material de vídeo e áudio.	09
3. Termologia	Estabelecer a diferença entre calor e temperatura. Compreender o equilíbrio térmico e a dilatação térmica dos corpos.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: *links*, exercícios, atividades, vídeo conferências, material de vídeo e áudio.	09
4. Calorimetria	Utilizar a equação fundamental da calorimetria. Identificar a diferença entre o calor sensível e o calor latente. Caracterizar as formas de transferências de calor: condução, convecção e irradiação.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: *links*, exercícios, atividades, vídeo conferências, material de vídeo e áudio.	09
5. Ondas	Definir parâmetros de uma onda como: período, frequência, comprimento e velocidade de propagação de onda. Classificar os tipos de ondas. Caracterizar os fenômenos de reflexão e refração das ondas mecânicas e eletromagnéticas.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: *links*, exercícios, atividades, vídeo conferências, material de vídeo e áudio.	09

AULA	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	MATERIAIS	CARGA HORÁRIA (horas)
6. Óptica	Conhecer os fenômenos óticos de reflexão, refração e absorção da luz em lâminas paralelas, espelhos esféricos e lentes.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: *links*, exercícios, atividades, vídeo conferências, material de vídeo e áudio.	09
7. Eletricidade	Conhecer os fundamentos da corrente e da tensão elétrica e a relação com os outros assuntos desta disciplina. Relacionar os conceitos de resistência elétrica com os conceitos de tensão e resistência elétrica e a aplicação em eletricidade.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: *links*, exercícios, atividades, vídeo conferências, material de vídeo e áudio.	09

Aula 1 – Grandezas físicas

Objetivos

Aprender a transformar unidades usando o método que julgar mais adequado, conhecendo o sistema de unidades e a ordem de grandeza da grandeza física.

1.1 Definição de grandeza física

Grandezas físicas são aquelas grandezas que podem ser medidas, ou seja, que descrevem qualitativamente e quantitativamente as relações entre as propriedades observadas no estudo dos fenômenos físicos. Medir, significa comparar quantitativamente uma grandeza física com uma unidade através de uma escala predefinida. Nas medições, as grandezas sempre devem vir acompanhadas de unidades. Exemplos de grandezas: comprimento, massa, temperatura, velocidade.

Medir uma grandeza física é compará-la com outra grandeza de mesma espécie, que é a unidade de medida. Verifica-se, então, quantas vezes a unidade está contida na grandeza que está sendo medida.

Por exemplo, quando se diz que um determinado pedaço de corda tem 3 m de comprimento, significa dizer que esta corda pode ser dividida em 3 pedaços de 1 metro, onde 1 metro é a unidade. Por outro lado, este mesmo pedaço de corda pode ser dividido em 300 pedaços de 1 centímetro, onde 1 centímetro também é uma unidade. Em ambos os casos, a grandeza física é a mesma: "comprimento da corda", embora as unidades sejam distintas.

1.2 Notação científica

Na natureza, algumas grandezas são muito maiores que a unidade empregada. Por exemplo, o diâmetro da terra é de aproximadamente 10.000.000 metros. Por outro lado, outras grandezas são muito menores que a unidade, como por exemplo, o raio de uma bactéria comum, que é de aproximadamente 0,000001 metros. Nestes casos, escrever algarismos com muitos algarismos zero é inconveniente, podendo inclusive levar a erros. Emprega-se, então, a notação com potências de dez, também conhecida como notação científica.

A vantagem do uso desta notação é substituir o número de zeros da grandeza por 10 elevado ao um expoente igual ao número de zeros. Por exemplo: o diâmetro da terra é 10.000.000 m, ou seja, igual a 10^7 m e o diâmetro da bactéria 0,000001 m equivale a 10^{-6} m.

No primeiro exemplo, o expoente 7 é igual ao número de zeros que aparece no número que define o valor do diâmetro da terra. No segundo exemplo, o expoente 6 também é o número de zeros que define o valor da grandeza "diâmetro da bactéria", porém o expoente é negativo, o que significa que é menor que a unidade.

Outros exemplos

$10^1 = 10$	$10^2 = 100$
$10^3 = 1000$	$10^{-1} = 0,1$
$10^{-2} = 0,01$	$10^{-3} = 0,001$
$3 \times 10^1 = 3 \times 10 = 30$	$1,2 \times 10^4 = 1,2 \times 10.000 = 12.000$
$2 \times 10^{-1} = 2 \times 0,1 = 0,2$	$4,53 \times 10^{-2} = 4,53 \times 0,01 = 0,0453$

Observação
O número que multiplica a potência de dez deve estar, preferencialmente, entre 1 e 10. Por exemplo, evite usar a notação 34×10^3, pois é preferível usar a forma $3,4 \times 10^4$ (o expoente de dez passou de 3 para 4 na transformação de 34,0 para 3,4 e a vírgula se deslocou uma casa para a esquerda).

Outros exemplos
- Use $3,0261 \times 10^{-4}$ ao invés de $302,61 \times 10^{-6}$
- Use $4,89 \times 10^{-4}$ ao invés de $0,489 \times 10^{-3}$

1.2.1 Operações com potências de dez

a) **Multiplicação** – a multiplicação de números em notação científica (potência de dez) é realizada somando os expoentes de dez e multiplicando os números que aparecem na frente das potências.

Exemplos
$(3 \times 10^{-2}) \times (4 \times 10^{-3}) = (3 \times 4) \times (10^{-2-3}) = 12 \times 10^{-5} = 1,2 \times 10^{-4}$
$(3,2 \times 10^{2}) \times (2 \times 10^{3}) = (3,2 \times 2) \times (10^{2+3}) = 6,4 \times 10^{5}$
$(2 \times 10^{-5}) \times (4 \times 10^{3}) = (2 \times 4) \times (10^{-5+3}) = 8 \times 10^{-2}$

b) Divisão – a divisão de números em notação científica (potência de dez) é realizada diminuindo os expoentes e dividindo os números que aparecem na frente das potências.

Exemplos

$(3 \times 10^{-2}) \div (4 \times 10^{-3}) = (3 \div 4) \times (10^{-2-(-3)}) = 0,75 \times 10^{1} = 7,5$

$(3,2 \times 10^{2}) \div (2 \times 10^{3}) = (3,2 \div 2) \times (10^{2-3}) = 1,6 \times 10^{-1}$

$(2 \times 10^{-5}) \div (4 \times 10^{3}) = (2 \div 4) \times (10^{-5-3}) = 0,5 \times 10^{-8} = 5 \times 10^{-9}$

c) Soma e subtração – a soma ou subtração de números com notação científica (potência de dez) acontece quando os expoentes são iguais. Portanto, o primeiro passo é transformar os dois números para potências de dez com o mesmo expoente.

Exemplos

$10^{-2} + 10^{-3} = 1 \times 10^{-2} + 1 \times 10^{-3} = 10 \times 10^{-3} + 1 \times 10^{-3} = 11 \times 10^{-3} = 1,1 \times 10^{-2}$

$2,37 \times 10^{4} - 1,1 \times 10^{3} = 23,7 \times 10^{3} - 1,1 \times 10^{3} = 22,6 \times 10^{3} = 2,26 \times 10^{4}$

$2 + 3 \times 10^{-6} = 2 + 0,000003 = 2,000003$

1.3 Ordens de grandeza

A ordem de grandeza de uma grandeza física é a potência de dez que mais se aproxima do valor da grandeza. Por exemplo, o diâmetro da terra é aproximadamente $1,3 \times 10^{7}$ metros. Neste caso, diz-se que a ordem de grandeza do diâmetro da terra é de 10^{7} metros.

Outros exemplos

- A ordem de grandeza da velocidade média de um automóvel de passeio em rodovias de pista dupla: 110 km/h ($1,1 \times 10^{2}$ km/h) é 10^{2} km/h.

- A ordem de grandeza da velocidade da luz no vácuo 300.000.000 m/s (metros por segundo) é 10^{8} m/s.

- A ordem de grandeza da potência aproximada do motor de um carro de Formula-1: 1000 cv (10^{3} cv) é 10^{3} cv.

- A ordem de grandeza da distância equivalente a 1 ano-luz: $9,46 \times 10^{15}$ metros é 10^{15} metros.

- A ordem de grandeza do raio de um átomo de hidrogênio: 5×10^{-11} metros é 10^{-11} metros.

- Altura média de uma pessoa adulta: 1,70 metros = $1{,}7 \times 10^{0}$ (ordem de grandeza de 10^{0} metros).

- A ordem de grandeza do número $1{,}34 \times 10^{8}$ é 10^{8} porque 1,34 é menor do que 5,5 e, nesse caso, devemos manter o expoente da notação científica.

De modo geral, para obtermos a ordem de grandeza de um número N qualquer, em primeiro lugar faremos a sua representação na notação científica:

Equação 1.1

$$N = x \times 10^{y}$$

Onde: $1 \leq x < 10$
y é um número inteiro

Em seguida, verificamos se x é maior ou menor que 5,5. Portanto:

- Se > 5,5, fazemos $x \approx 10$.

- Se $x \leq 5{,}5$, fazemos $x \approx 1$.

1.4 Sistema Internacional de Unidades (SI)

Toda grandeza física pode ser medida e para se fazer uma medição é necessário que se estabeleça uma unidade. Por exemplo, a unidade de comprimento oficial no Brasil é o metro, cujo símbolo é "m". Existem outras unidades de medida de comprimento, como a polegada, a milha, a jarda, etc. que são utilizadas principalmente nos EUA. Devido à grande influência econômica dos EUA sobre os demais países, a polegada acaba sendo também utilizada em países como o Brasil. No entanto, o sistema de unidades oficial do Brasil e da grande maioria dos demais países do mundo é o Sistema Internacional de Unidades (SI). O Quadro 1.1 mostra as sete unidades fundamentais do SI, além da grandeza e o símbolo correspondentes. Observe a maneira correta de escrever o nome da unidade e o símbolo. Por exemplo, o símbolo correto de metro é "m" e não "M", "mts", etc. como comumente encontramos no cotidiano.

Quadro 1.1: Unidades fundamentais do SI		
Grandeza	**Unidade**	**Símbolo**
Comprimento	metro	m
Massa	quilograma	kg
Tempo	segundo	s
Corrente elétrica	ampère	A
Temperatura termodinâmica	Kelvin	K
Quantidade de matéria	mol	mol
Intensidade luminosa	candela	cd

Fonte: Autor

A partir destas sete unidades fundamentais, várias outras unidades podem ser derivadas. O Quadro 1.2 apresenta as unidades derivadas mais comuns e que serão utilizadas no curso e na vida profissional técnica. A última coluna mostra como a grandeza é definida a partir das grandezas fundamentais. Como se pode perceber na coluna "Forma analítica", todas as unidades derivadas podem ser escritas a partir das unidades fundamentais.

Quadro 1.2: Unidades derivadas do SI				
Grandeza	**Unidade**	**Símbolo**	**Forma analítica**	**Definição**
Área superficial	metro quadrado	m^2	m^2	m^2
Volume sólido	metro cúbico	m^3	m^3	m^3
Velocidade	metro por segundo	m/s	m/s	m/s
Aceleração	metro por segundo quadrado	m/s^2	m/s^2	m/s^2
Vazão	metro cúbico por segundo	m^3/s	m^3/s	m^3/s
Densidade volumétrica	quilograma por metro cúbico	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3
Ângulo plano	radiano	rad	1	m/m
Frequência	hertz	Hz	1/s	1/s
Força	newton	N	$kg.m/s^2$	$kg.m/s^2$
Pressão	pascal	Pa	$kg/(m.s^2)$	N/m^2
Energia	joule	J	$kg.m^2/s^2$	N.m
Potência	watt	W	$kg.m^2/s^3$	J/s
Carga elétrica	coulomb	C	A.s	A.s
Tensão elétrica	volt	V	$kg.m^2/(s^3.A)$	W/A
Resistência elétrica	ohm	Ω	$kg.m^2/(s^3.A^2)$	V/A
Capacitância	farad	F	$A^2.s^2.s^2/(kg.m^2)$	A.s/V
Temperatura em Celcius	grau Celsius	°C	---	K-273,2

Fonte: Autor

1.4.1 Múltiplos e submúltiplos do SI

Alternativamente à notação científica, quando a grandeza física é muito maior ou muito menor que a unidade, é comum utilizar-se os múltiplos e submúltiplos das unidades. O Quadro 1.3 apresenta a correspondência entre a notação científica e os múltiplos e submúltiplos do SI. Cada múltiplo/submúltiplo do SI tem um símbolo correspondente, que deve ser escrito na frente do símbolo da unidade. Por exemplo, o símbolo k (quilo) corresponde a 10^3. Assim, dizer que uma certa distância é de 120 km, corresponde a dizer que esta distância é igual 120×10^3 m, ou $1{,}2 \times 10^5$ m.

Quadro 1.3: Múltiplos e submúltiplos das unidades do SI

10^n	Prefixo	Símbolo	Escala curta	10^n	Prefixo	Símbolo	Escala curta
10^{24}	yotta	Y	Septilhão	10^{-1}	deci	d	Décimo
10^{21}	zetta	Z	Sextilhão	10^{-2}	centi	c	Centésimo
10^{18}	exa	E	Quintilhão	10^{-3}	mili	m	Milésimo
10^{15}	peta	P	Quadrilhão	10^{-6}	micro	μ (*)	Milionésimo
10^{12}	tera	T	Trilhão	10^{-9}	nano	n	Bilionésimo
10^{9}	giga	G	Bilhão	10^{-12}	pico	p	Trilionésimo
10^{6}	mega	M	Milhão	10^{-15}	femto	f	Quadrilionésimo
10^{3}	quilo	k	Milhar	10^{-18}	atto	a	Quintilionésimo
10^{2}	hecto	h	Centena	10^{-21}	zepto	z	Sextilionésimo
10^{1}	deca	da	Dezena	10^{-24}	yocto	y	Septilionésimo
10^{0}	nenhum	nenhum	Unidade				

* Pode ser escrito como ‘u’ se o ‘μ’ não estiver disponível, como em ‘10 uF’

Fonte: Autor

1.5 Transformação de unidades

Conforme já mencionado, o sistema de unidades oficial do Brasil é o SI. Infelizmente, é bastante comum a utilização de outros sistemas de unidades, como o Inglês, onde a unidade de comprimento é a polegada. Outras unidades bastante utilizadas na prática são o quilograma-força (símbolo kgf) para força, o cavalo vapor (símbolo cv) e “horse-power” (símbolo HP) para potência, a atmosfera (símbolo atm) e o bar (símbolo bar) para pressão, entre muitos outros. Muitas vezes, é necessário transformar estas unidades para as do SI. Isto pode ser feito de diversas maneiras, como: substituição de múltiplos/submúltiplos; tabelas e regra de três simples.

1.5.1 Substituição de múltiplos/submúltiplos

O método da substituição de múltiplos e submúltiplos só pode ser usado para unidades do SI. Para transformar múltiplos e submúltiplos de unidades basta escrever em notação de potência de dez e rearranjar para o múltiplo ou submúltiplo desejado.

Exemplos

- Potência de um motor elétrico: 8 kW = 8×10^3 W.

- Diâmetro de uma broca específica: 10 mm = 10×10^{-3} m = 10^{-2} m = 1 cm.

- Comprimento de um campo de futebol em km: 100 m = $100 \times (10^{-3} \times 10^3$ m) = $10^2 \times 10^{-3}$ km = 10^{-1} km = 0,1 km.

- Área de um campo de futebol em km^2: 700 m^2 = $700 \times (10^{-3}$ km$)^2$ = $7 \times 10^2 \times 10^{-6}$ km^2 = 7×10^{-4} km^2.

1.5.2 Método da tabela

O método da tabela é usado para transformar unidades de sistemas diferentes. O Quadro 1.4 apresenta na coluna do meio os fatores que devem ser multiplicados à unidade da primeira coluna para se obter a unidade da última coluna. Por exemplo, para se transformar polegada (primeira coluna) para metro (última coluna), deve-se multiplicar por 0,0254 (1 pol × 0,00254 = 0,0254 m = 2,54 cm = 25,4 mm).

Outros exemplos

- 5 ft em pol: 5 × 12″ = 60″

- 1 mi em km: 1 × 1.609 m = 1.609 m ≅ 1,6 km

- 20 psi em kPa: 20 × 6.899 Pa = 137.980 Pa ≅ 138 kPa

- 7.000 BTU/h em kW: 7.000 × 0,293 = 2.051 W ≅ 2 kW

Quadro 1.4: Correspondência entre unidades do SI e outras unidades

Unidade (símbolo)	Multiplicar por	Unidade (símbolo)
polegada (pol, inch, ″)	0,0254	metro (m)
pé (ft)	12	polegada (pol, ″)
milha terrestre (mi)	1.609	metro (m)
milha náutica (n.mi)	1.853	metro (m)
litro (l)	10^{-3}	metro cúbico (m^3)
galão dos EUA	3,785	litro (l)
galão da Inglaterra	4,54	litro (l)
quilograma-força (kgf)	aceleração da gravidade (9,81)	newton (N)
libra-massa (lb)	0,454	quilograma (kg)
tonelada (t)	1.000	quilograma (kg)
libra-força (lbf)	0,454 × gravidade (9,81) = 4,45	newton (N)
atmosfera (atm)	101.325	pascal (Pa)

Unidade (símbolo)	Multiplicar por	Unidade (símbolo)
libra-força por polegada quadrada (psi, lbf/pol^2)	6.899	pascal (Pa)
quilograma-força por centímetro quadrado (kgf/cm^2)	gravidade (9,81) × 10^4	pascal (Pa)
bar (bar)	10^5	pascal (Pa)
caloria (cal)	4,186	joule (J)
unidade térmica inglesa (BTU)	1.055	joule (J)
watt-hora (W.h)	3.600	joule (J)
Cavalo-vapor (cv)	736	watt (W)
Horse-power (HP)	746	watt (W)
BTU por hora (BTU/h)	0,293	watt (W)
tonelada de refrigeração (TR)	12.000	BTU/h
hora (h)	3.600	segundo (s)

Fonte: Autor

Para se fazer a transformação inversa, ou seja, transformar as unidades da última coluna para as da primeira coluna, basta dividir pelo valor da coluna do meio. Por exemplo, para transformar 5 metros cúbicos (última coluna) em litros (primeira coluna), deve-se dividir por 10^{-3} (coluna do meio), ou seja:

$$\frac{5}{10^{-3}} = 5 \times 10^3 \ell = 5000 \, \ell$$

1.5.3 Regra de três simples

O método da regra de três simples é usado para transformar tanto unidades de sistemas diferentes quanto unidades do SI. Basta saber a correspondência entre as unidades inicial e final. Por exemplo, para se transformar 3 polegadas em metro, deve-se saber de antemão que 1 pol corresponde a 0,0254 m. Neste caso temos a seguinte relação de proporção:

1 pol = 0,0254 m

3 pol = X m

Efetuando a multiplicação cruzada temos: $1 \times X = 3 \times 0{,}0254$

Portanto: X = 0,0762 m

Suponha agora que queremos converter este valor para centímetros. Devemos saber de antemão que 1 centímetro é igual a 10^{-2} metros. Podemos então escrever a seguinte proporção:

$1\ cm = 10^{-2}\ m$

$X\ cm = 0{,}0762\ m$

Efetuando a multiplicação cruzada temos: $1 \times 0{,}0762 = X \times 10^{-2}$

Isolando X na equação acima temos:

$$X = \frac{0{,}0762}{10^{-2}} = 7{,}62\ cm$$

Resumo

Verificou-se que grandeza física é tudo aquilo que envolve medidas, ou seja, que pode ser medido. Na natureza, algumas grandezas são muito maiores que a unidade empregada. Nestes casos, escrever algarismos com muitos algarismos zero é inconveniente, podendo inclusive levar a erros. Emprega-se então a notação com potências de dez, também conhecida como notação científica. A vantagem do uso desta notação é substituir o número de zeros da grandeza por 10 elevado ao um expoente igual ao número de zeros. Por exemplo: o diâmetro da terra é 10.000.000 m, ou seja, igual a 10^7 m e o diâmetro da bactéria 0,000001 m equivale a 10^{-6} m.

Atividades de aprendizagem

1. Reescreva as notações científicas abaixo numa forma mais adequada (número que multiplica a potência de dez entre 1 e 10):

   Exemplo: $15{,}8 \times 10^{-5} = 1{,}58 \times 10^{-4}$

a) $6785{,}3 \times 10^3$

b) $0{,}283 \times 10^4$

c) $0{,}0003 \times 10^{-4}$

d) $0{,}0234 \times 10^5$

e) $5867{,}23 \times 10^{-5}$

2. Faça as seguintes operações em notação científica (potência de dez):

a) $3 \times 10^{-2} + 5{,}4 \times 10^{-1}$

b) $8{,}3 \times 10^{3} + 5{,}1 \times 10^{6}$

c) $3 \times 10^{-2} \times 5{,}4 \times 10^{-1}$

d) $3 \times 10^{4} \times (-5{,}4 \times 10^{-1})$

e) $1{,}2 \times 10^{-2} - 5 \times 10^{-1}$

f) $7 \times 10^{-5} \div 3{,}5 \times 10^{3}$

g) $3 \times 10^{4} \div 4 \times 10^{-1}$

h) $10^{-2} \times 3{,}1416 \times 10^{3}$

3. Pesquise a ordem de grandeza das seguintes grandezas físicas:

a) Diâmetro médio de um dedo da mão em metros.

b) Potência elétrica em watt [W] de uma lâmpada do tipo incandescente.

c) Velocidade do som no ar em m/s.

d) Massa média de um adulto em quilogramas.

e) Massa média de um automóvel de passeio em quilogramas.

f) Massa de um caminhão de transporte rodoviário carregado em quilogramas.

g) Espessura de uma folha de papel em metros.

4. Converta os seguintes múltiplos/submúltiplos do SI.

a) 1 cm em metros.

b) 5 m em milímetros.

c) 7500 W em kW.

d) 101.325 pascal em kPa.

e) 1 μm em mm.

f) 2,5 GW em kW.

5. Converta as seguintes medidas utilizando o método da tabela:

a) 8 bar em kPa.

b) 2.000 kcal em joule.

c) 80 kW.h em J.

d) 18.000 BTU/h em TR.

e) 101,3 kPa em psi.

f) 70 kg em lb.

g) 1 atm em bar.

h) 1 mi em pol.

i) 1 cv em HP.

6. Converta as seguintes medidas utilizando o método da regra de três simples:

a) 8 bar em kPa.

b) 2.000 kcal em joule.

c) 80 kWh em J.

d) 18.000 BTU/h em TR.

e) 101,3 kPa em psi.

f) 70 kg em lb.

g) 1 atm em bar.

h) 1 mi em pol.

i) 1 cv em HP.

Aula 2 – Energia mecânica

Objetivos

Identificar as fontes de energia existentes na natureza.

2.1 Definição de energia

De um modo geral, a energia pode ser definida como capacidade de realizar trabalho ou como o resultado da realização de um trabalho.

Embora não se tenha uma definição de energia, podemos dizer que a presença de energia implica a possibilidade de produzir movimento. A energia que uma pessoa armazena ao se alimentar, por exemplo, possibilita o funcionamento de seus órgãos, permite que ela se movimente e mova outros corpos. A energia dos combustíveis usados nos automóveis também possibilita seus movimentos. Da mesma forma, a energia elétrica produzida por uma bateria possibilita os movimentos de elétrons em fios condutores.

Nesta aula, vamos dar ênfase à energia mecânica que é composta por energia cinética e energia potencial.

2.2 Trabalho realizado por uma força

O significado da palavra "trabalho" em física é diferente do significado com que a palavra é usada na vida diária. Em física, trabalho está associado a forças e não a corpos, por isso se diz: "trabalho realizado por uma força".

Considere um corpo submetido à ação de uma força constante, cujo ponto de aplicação sofre um deslocamento retilíneo de A até B. Seja θ o ângulo formado entre a força e o deslocamento.

Define-se trabalho da força no deslocamento de um corpo do ponto A até um ponto B (Figura 2.1), ao produto da intensidade da força pela extensão do deslocamento e pelo coseno do ângulo da força com a horizontal.

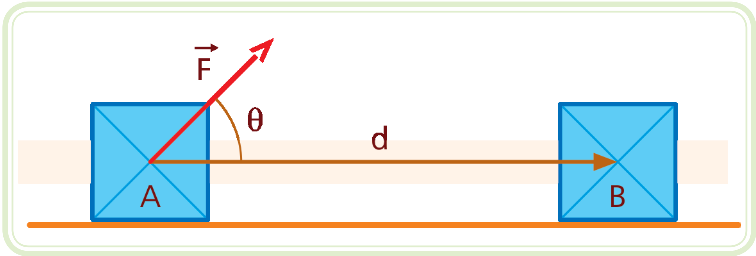

Figura 2.1: Deslocamento de um corpo por uma força
Fonte: CTISM

Matematicamente, podemos traduzir o trabalho realizado pela força $\vec{F}$ pela expressão:

Equação 2.1
$$W = F \times d \times \cos(\theta)$$

Quando a força não produz deslocamento, não realiza trabalho. Por isso, dizemos trabalho de uma força e não trabalho de um corpo. O trabalho é uma grandeza física criada para medir energia. Vamos considerar dois casos:

Primeiro caso – a força tem a mesma direção do deslocamento.

Consideremos um corpo que, por causa da força $\vec{F}$, horizontal e constante, se movimenta da posição A para a posição B conforme Figura 2.2, sofrendo um deslocamento d.

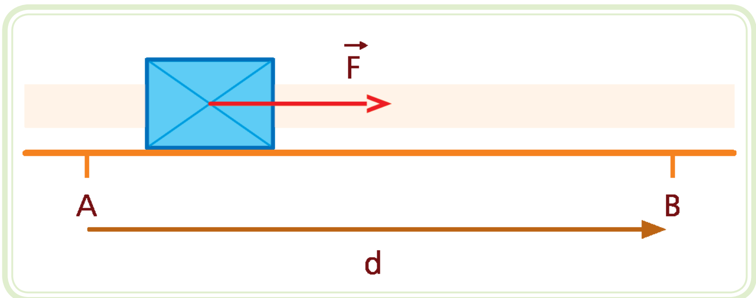

Figura 2.2: Deslocamento de um corpo por uma força horizontal
Fonte: CTISM

O trabalho, no deslocamento AB é dado por: $W_{AB} = F \times d \times \cos(0)$

O valor desse trabalho é igual à energia transmitida por uma pessoa ao corpo, supondo que o sistema seja ideal, isto é, sem perdas.

A unidade de trabalho, no SI, é o N.m, chamada joule que é indicado por J, em homenagem ao físico inglês James Prescott Joule. (1 N × 1 m = 1 J)

1 joule é o trabalho realizado por uma força de 1 newton que atua na mesma direção e sentido de um deslocamento de 1 metro.

Segundo caso – a força não tem a mesma direção do deslocamento.

Consideremos um corpo que, sob a ação da força, passa da posição A para a posição B, sofrendo um deslocamento d, Figura 2.3.

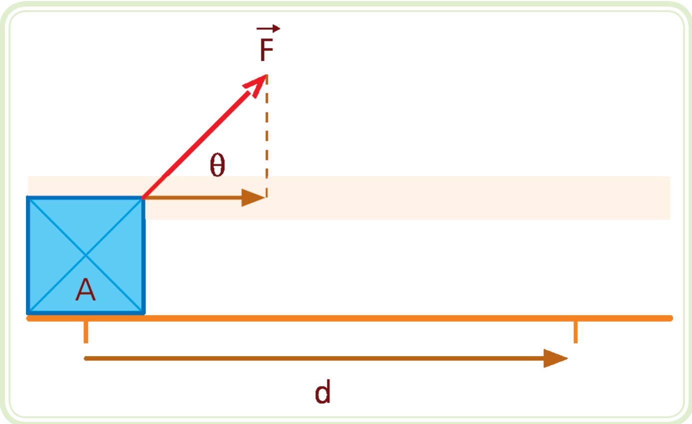

Figura 2.3: Deslocamento de um corpo por uma força
Fonte: CTISM

Então, o trabalho do componente $\vec{F}_y$, no deslocamento d é nulo, pois não há deslocamento na direção y. Logo, somente $\vec{F}_x$ realiza trabalho e esse trabalho é dado por:

Equação 2.2

$$W_{AB} = F_x \times d = F \times \cos\theta \times d$$

O trabalho é uma grandeza escalar. Se a força for perpendicular à direção do deslocamento, o trabalho é nulo, pois cos 90º = 0. O trabalho de uma força constante ou não, pode ser obtido por meio de um gráfico, como mostra a Figura 2.4. O trabalho é dado, numericamente, pela área A.

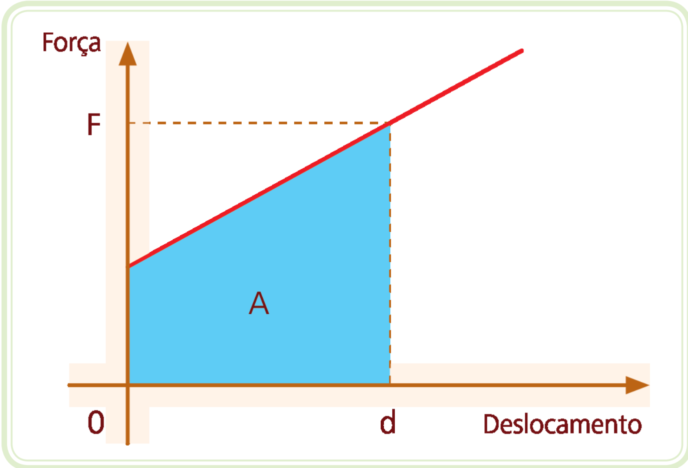

Figura 2.4: Gráfico força × deslocamento
Fonte: CTISM

Exemplo

Um corpo de massa 2 kg e velocidade inicial de 2 m/s desloca-se em linha reta por 3 m, adquirindo velocidade final de 3 m/s em movimento uniformemente variado. Qual o trabalho realizado pela força resultante deste deslocamento?

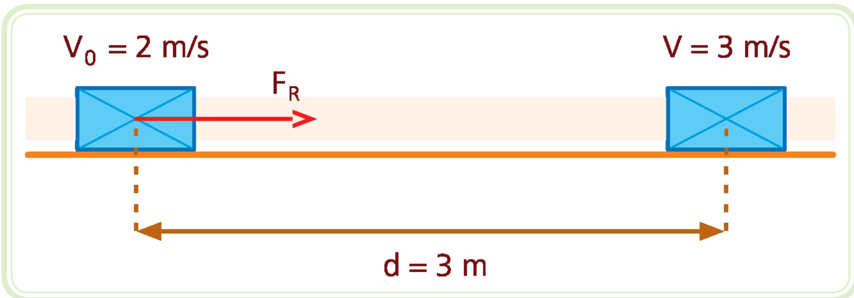

Figura 2.5: Corpo em movimento uniformemente acelerado
Fonte: CTISM, adaptado de Silva, 2010

Aceleração média do corpo:

$$v^2 = v_0^2 + 2 \times a \times d \therefore 3^2 = 2^2 + 2 \times a \times 3 \therefore a = \frac{5}{6} \text{ m/s}^2$$

Módulo da força resultante:

$$F_R = m \times a$$

$$F_R = \frac{2 \times 5}{6}$$

$$F_R = \frac{5}{3}\ \text{N}$$

Trabalho da força resultante:

$$W = F_R \times d = \frac{5}{3} \times 3 = 5\ \text{J}$$

2.2.1 Trabalho da força peso

Vamos considerar um corpo de massa m que se desloca de um ponto A para um ponto B, segundo uma trajetória qualquer, de acordo com a Figura 2.6.

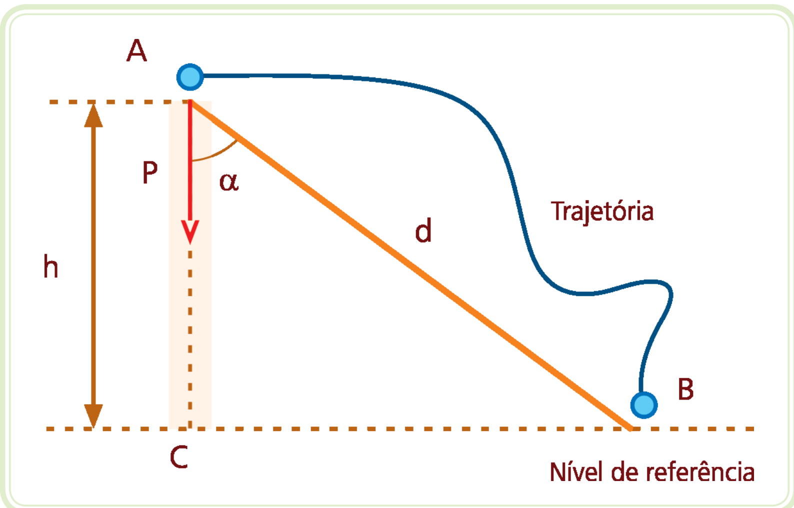

Figura 2.6: Trajetória percorrida por um corpo
Fonte: CTISM

Sendo P o peso do corpo e d o deslocamento entre A e B, o trabalho realizado pela força peso é dado por:

Equação 2.3

$$W_{AB} = P \times d \times \cos\alpha = P \times h = m \times g \times h = W_{AC}$$

Observe que através da Equação 2.3, o trabalho da força peso não depende da trajetória descrita pelo corpo, isto é, depende apenas do desnível entre as posições inicial e final do corpo. Se o deslocamento do corpo for de B até A, isto é, durante a subida, o trabalho realizado pela força peso é negativo.

Exemplo
Uma pessoa levanta uma criança de massa igual a 25 kg a uma altura de 3 m, com velocidade constante. Sabendo que g = 10 m/s², determine:

a) O trabalho realizado pela força peso.

b) O trabalho realizado pela pessoa.

Solução
$m = 25$ kg; $h = 3$ m; $g = 10$ m/s²

a) $W_{BA} = -m \times g \times h = -25 \times 10 \times 3$ BA = –750 J

b) $W_{BA} = m \times g \times h = 25 \times 10 \times 3$ BA = 750 J

2.3 Potência

Se duas pessoas que realizam o mesmo trabalho e uma delas realiza o trabalho em um tempo menor do que a outra, esta pessoa tem que fazer um esforço maior, assim, dizemos que desenvolveu uma potência maior em relação à outra.

Como outros exemplos, pode-se citar: Um carro tem maior potência, quando consegue atingir maior velocidade em um menor intervalo de tempo. Um aparelho de som é mais potente do que outro, quando consegue converter mais energia elétrica em energia sonora em um intervalo de tempo menor.

Assim sendo, uma máquina é caracterizada pelo trabalho que pode realizar em um determinado tempo. E a sua eficiência é medida através da relação do trabalho que ela realiza, pelo tempo gasto para realizá-lo. Isso define potência, que é o tempo gasto (Δt) para se realizar um determinado trabalho. A expressão de potência (Pot) é então:

Equação 2.4

$$Pot = \frac{W}{\Delta t}$$

A unidade de potência no Sistema Internacional é o watt, representado pela letra W. Essa foi uma homenagem ao matemático e engenheiro escocês James Watt. Outra medida de potência é o cavalo-vapor (cv) criado por James Watt (1736-1819), que inventou a primeira máquina a vapor. Ele queria mostrar a quantos cavalos correspondia a máquina que produzira. Assim sendo, observou que um cavalo podia erguer uma carga de 75 kgf, ou seja, 75 × 9,8 N = 735 N a um metro de altura, em um segundo, ou seja, 735 N × 1 m ÷ 1 s = 735 W = 1 cv.

2.4 Rendimento

Em nosso dia-a-dia, é muito comum falarmos em rendimento, seja na escola, no trabalho ou até mesmo quando queremos saber quantos quilômetros um automóvel faz com um litro de combustível. No estudo de física, a noção de rendimento está ligada à energia e potência.

Todas as vezes que uma máquina realiza um trabalho, uma parte de sua energia total é dissipada, seja por motivo de falha ou até mesmo devido ao atrito. Lembrando que essa energia dissipada não é perdida, é transformada em outros tipos de energia (Lei de Lavoisier). Assim sendo, considera-se a seguinte relação para calcular o rendimento:

Equação 2.5

$$\eta = \frac{Pu}{Pt}$$

Em que η (letra grega "eta") é o rendimento da máquina, Pu é a potência utilizada pela máquina, Pt é a potência total recebida pela máquina, Pd é a potência dissipada.

A potência total é a soma das potências útil e dissipada:

Equação 2.6

$$Pt = Pu + Pd$$

Por se tratar de um quociente de grandezas de mesma unidade, rendimento é uma grandeza adimensional, ou seja, ele não possui unidade. Rendimento é expresso em porcentagem, é sempre menor que um e maior que zero $0 < \eta < 1$.

Exemplo 01

Uma máquina **A** eleva, verticalmente, um corpo com 1 kg de massa a 12 m de altura, em 4 s, com velocidade constante. Outra máquina **B** puxa, em uma superfície horizontal lisa, um corpo com massa igual a 2 kg, inicialmente em repouso, até a velocidade de 8 m/s, em 2 s. (Considere $g = 10$ m/s²).

a) Qual o trabalho total realizado pelas máquinas A e B?

b) Qual a potência média desenvolvida pela máquina A? E pela máquina B?

c) Se as máquinas tivessem que realizar um mesmo trabalho, qual delas o faria num intervalo de tempo menor?

Solução

a) A força exercida pela máquina A é igual ao peso do corpo, pois ele sobe com velocidade constante.

$F = P$
$F = m \times g$
$F = 1 \times 10$
$F = 10\ N$

O trabalho é dado por: $w = F \times h = 10 \times 12 = 120\ J$

Para máquina B temos:

$V = V_0 + a \times t$
$8 = 0 + a \times 2$
$a = 4\ m/s^2$

$F = m \times a$
$F = 2 \times 4 = 8\ N$

$V^2 = V_0^2 + 2 \times a \times d$
$8^2 = 0^2 + 2 \times 4 \times d$
$d = 8\ m$

$W = F \times d = 8 \times 8 = 64\ J$

b) $Pot = W \div \Delta t$

$PotA = 120 \div 4 = 30\ W$

$PotB = 64 \div 2 = 32\ W$

c) A máquina B, pois tem potência maior que a máquina A.

Exemplo 02

Um motor consome 2 kW quando realiza um trabalho de 2800 J em 7 s.

a) Determine a potência dissipada por esse motor.

b) Calcule o seu rendimento.

Solução

a) A potência total que o motor consome é $Pt = 2\ kW = 2000\ W$. A potência útil é dada por:

$$Pu = W \div \Delta t = 2800 \div 7 = 400\ W$$

A potência dissipada é:

$$Pt = Pu + Pd$$
$$2000 = 400 + Pd$$
$$Pd = 2000 - 400 = 1600\ W$$

b) $\eta = Pu \div Pt = 400 \div 2000 = 0{,}2$

2.5 Energia

A energia pode ser encontrada na natureza, nas mais diversas formas, sejam química, atômica, elétrica, cinética, potencial, eólica, etc. O conceito de energia está diretamente ligado com "trabalho". De modo geral, diz-se que: energia é tudo aquilo que pode se transformar em trabalho ou vice-versa.

2.5.1 Energia cinética

Existem alguns tipos de energia associados ao movimento de um corpo, quanto maior a velocidade desse corpo maior essa energia, como também, quanto maior for a massa do corpo maior será sua energia. A energia que um corpo possui quando está em movimento, chama-se energia cinética que é proporcional ao quadrado de sua velocidade e proporcional a sua massa.

Considere um ponto material de massa m em repouso $V_0 = 0$, numa superfície horizontal, em relação a um determinado referencial. Sob ação de uma força resultante, constante e horizontal, o ponto material apresenta, num certo instante t, a velocidade escalar V.

O trabalho da força é igual a $W = F \times d = m \times a \times d$

Da equação de Torricelli, temos: $V^2 = V_0^2 + 2 \times a \times d$

$V^2 = 0 + 2 \times a \times d$ $\qquad V^2 = 2 \times a \times d$ $\qquad d = V^2 \div (2 \times a)$

Substituindo as equações acima, temos:

$W = m \times a \times d$
$W = m \times a \times V^2 \div (2 \times a) = m \times V^2 \div 2$
$d = Ec = (m \times V^2) \div 2$

Como a energia cinética de um corpo está associada ao seu movimento, ela é uma grandeza relativa, isto é, depende do referencial. Assim, a energia cinética de um passageiro, dentro de um ônibus, é nula em relação ao ônibus enquanto esse continuar em movimento retilíneo uniforme, mas não é nula em relação a um carro parado na rua.

Por outro lado, quando um corpo em movimento realiza trabalho, diminui sua velocidade e perde parte de sua energia. Portanto, a energia cinética de um corpo é igual ao trabalho que ele pode realizar ao ser parado.

A unidade de energia é a mesma do trabalho, isto é, o joule (J).

Agora, considere um corpo de massa m, movendo-se sobre uma linha reta, sob a ação de uma força resultante e constante, ao longo da reta.

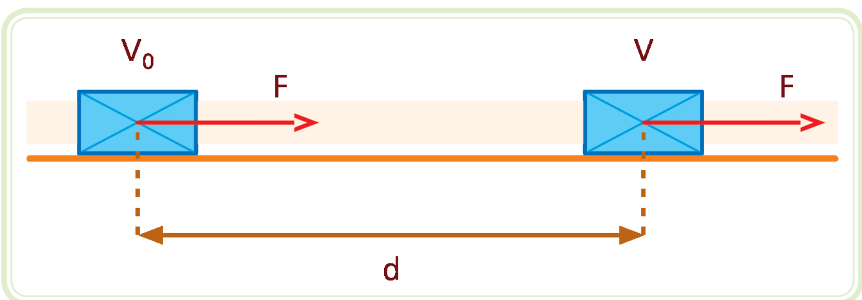

Figura 2.7: Corpo movendo-se sob ação de uma força
Fonte: CTISM

Essa força resultante ocasionará, no corpo, uma aceleração constante. Supondo que a velocidade inicial do corpo seja V_0 e a velocidade final seja V, num deslocamento d, temos:

Equação 2.7

$$V^2 = V_0^2 + 2 \times a \times d \quad \rightarrow \quad a = \frac{V^2 - V_0^2}{2 \times d}$$

De acordo com a 2ª Lei de Newton, temos:

$$F = m \times a \quad \rightarrow \quad F = m \times \frac{V^2 - V_0^2}{2 \times d}$$

$$F \times d = \frac{m \times V^2 - m \times V_0^2}{2}$$

Ou seja:

Equação 2.8

$$W = F \times d = [Ec(final) - Ec(inicial)] = \Delta Ec$$

Exemplo

Considere um ponto material com 4 kg de massa, inicialmente em repouso, sobre um plano horizontal onde o atrito é desprezível. No instante t = 0, aplica-se nele uma força horizontal de intensidade 32 N. Calcule sua energia cinética no instante de 20 s.

Solução

Dados: m = 4 kg; V_0 = 0; t = 20 s; F = 32 N

Cálculo da aceleração: $F = m \times a$
$32 = 4 \times a$
$a = 8\ m/s^2$

Cálculo da velocidade: $V = V_0 + a \times t$
$V = 0 + 8 \times 20$
$V = 160\ m/s$

Cálculo da energia cinética: $Ec = m \times V^2$

$$Ec = (4) \times (160)^2$$

$$Ec = 51200\ J$$

2.5.2 Energia potencial

Suponha que você esteja sobre uma mesa e pule para o chão. Como consequência, a força-peso realizou um trabalho que é proporcional ao deslocamento do ponto de aplicação da força-peso, que neste caso é a altura da mesa.

Então, podemos dizer que uma partícula pode ser capaz de realizar trabalho devido à sua posição. A essa capacidade de realizar trabalho, chamamos de energia potencial. Portanto, a capacidade de realizar trabalho depende da posição da partícula em relação a um determinado referencial, ou seja, a capacidade de realizar trabalho da força-peso depende da distância entre o nível em que se encontra a partícula e o nível de referência.

Já sabemos, então, que quando um corpo se encontra na altura h, dizemos que a força-peso tem a capacidade de realizar um trabalho igual a $m \times g \times h$. Então, o corpo quando se encontra na altura h terá uma energia denominada de energia potencial gravitacional, que será igual ao trabalho que o corpo poderá realizar ao cair. Portanto, a energia potencial gravitacional de um corpo que se encontra a uma altura h do solo é dada por:

Equação 2.9

$$Ep = m \times g \times h$$

Se fizer uma força contra o peso, para que o corpo suba, ele então terá uma energia potencial maior. O acréscimo dessa energia será igual ao trabalho que você realizou sobre o corpo. Portanto, podemos escrever que o trabalho realizado sobre o corpo é igual à variação da energia potencial sofrida pelo mesmo.

Essa diferença de energia potencial entre a posição inicial Ep_0 e a posição final Ep é igual ao trabalho realizado pelas forças conservativas que atuam na partícula, ou seja:

Equação 2.10

$$W = \Delta Ep = Ep - Ep_0$$

A energia potencial gravitacional é uma função da posição. Portanto, pode ser positiva, negativa ou nula. A energia potencial gravitacional não depende de como o corpo atinge certa altura (lenta ou rapidamente) nem do tipo de trajetória. Depende, sim, da posição inicial e final do corpo em relação a um nível de referência.

Exemplo 01

Um corpo de massa igual a 1 kg é abandonado no ponto A, conforme indica a Figura 2.8. Considere g = 10 m/s². Qual a energia potencial do corpo, em relação ao nível de referência, quando ele estiver no ponto A e quando estiver nos pontos B e C?

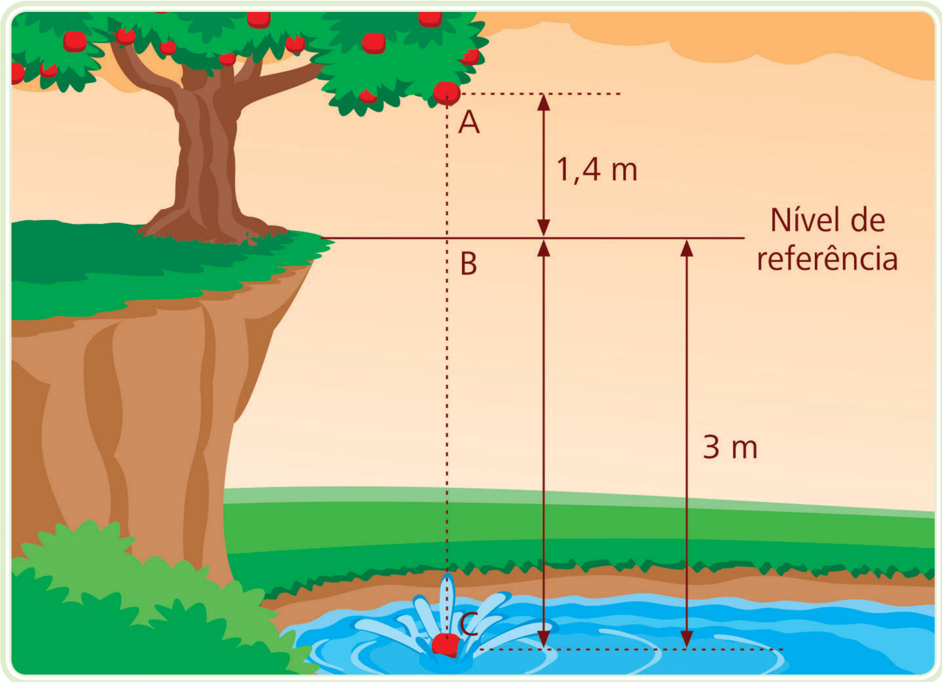

Figura 2.8: Ilustração do Exemplo 01
Fonte: CTISM

Solução

Energia potencial no ponto A: $Ep_A = m \times g \times h_A = 1 \times 10 \times 1{,}4 = 14$ J

Energia potencial no ponto B: $Ep_B = m \times g \times h_B = 1 \times 10 \times 0 = 0$

Energia potencial no ponto C: $Ep_C = m \times g \times h_C = 1 \times 10 \times (-3) = -30$ J

Exemplo 02

Qual a energia potencial, em relação ao solo, que uma pessoa de 70 kg de massa possui, quando está em cima de um muro de 3 m de altura? E se estiver em cima de uma mesa de 50 cm de altura? g = 10 m/s²

Solução
Energia potencial na mesa: EP = m × g × h = 70 × 10 × 0,5 = 350 J

Energia potencial no muro: EP = m × g × h = 70 × 10 × 3 = 2100 J

Exemplo 03
Vamos calcular agora, a energia potencial de uma pessoa de 70 kg de massa, quando estiver em cima de uma mesa de 50 cm de altura. Nas seguintes condições:

a) A mesa está no 20º andar de um edifício e o nível de referência é o chão desse andar.

b) A mesa está no 1º andar desse edifício e o nível de referência é o chão desse andar.

Solução
a) No 20º andar: EPA = m × g × h = 70 × 10 × 0,5 = 350 J

b) No 1º andar: EPB = m × g × h = 70 × 10 × 0,5 = 350 J

Veja que as energias potenciais em relação aos níveis são iguais. Por isso, tanto faz pular de uma mesa no 1º andar ou no 20º andar, desde que se pule no piso do andar.

2.5.3 Energia mecânica
Quando você atira uma pedra para cima, verticalmente, ela sai de sua mão com certa velocidade: enquanto a pedra sobe, a velocidade vai diminuindo até que, num determinado instante, ela para. Imediatamente, a pedra começa a cair e, enquanto cai, a velocidade cresce. Para atirar a pedra, você aplicou uma força que realizou trabalho.

A pedra estava parada e adquiriu energia cinética. Através do trabalho realizado pela força que sua mão aplicou sobre a pedra, houve transformação de energia: a energia química que estava em seus músculos transformou-se em energia cinética da pedra. E, enquanto a pedra sobe e desce o que acontece com essa energia?

A energia cinética de um corpo aumenta com o aumento da velocidade e diminui com a diminuição da velocidade. Assim, enquanto a pedra sobe, sua energia cinética diminui. No momento em que a pedra para, no alto, sua velocidade é nula, igual à zero; portanto, nesse momento sua energia cinética também é igual à zero. E, enquanto a pedra cai, sua energia cinética vai aumentando. Como podemos explicar a diminuição, o desaparecimento e depois o reaparecimento da energia cinética, se a energia não pode ser destruída e nem criada?

A resposta a essa pergunta nos leva à ideia de transformação de energia. A energia cinética, que a pedra tem ao subir, permanece armazenada, de algum modo. E essa energia armazenada é chamada energia potencial gravitacional. Enquanto a pedra sobe, a energia cinética vai diminuindo e a energia potencial gravitacional vai aumentando. Quando para, no alto, a pedra já não tem energia cinética, mas tem energia potencial gravitacional. E, quando a pedra começa a cair, a energia potencial gravitacional vai diminuindo, enquanto a cinética aumenta.

Quando um corpo se movimenta e nenhuma força dissipada atua sobre ele, a soma de sua energia cinética com sua energia potencial tem sempre o mesmo valor. Essa soma é chamada energia mecânica do corpo. O que acontece com a energia mecânica do corpo, durante a queda?

Em cada altura, os valores da energia potencial e da energia cinética são diferentes, mas a soma das duas formas de energia tem sempre o mesmo valor. A energia mecânica (Em) é a soma da energia cinética (Ec) e potencial (Ep) em um ponto: $Em = Ec + Ep$

A energia mecânica (Em) permanece constante, enquanto o corpo sobe ou desce.

Exemplo 01
O recorde olímpico de salto com vara é de aproximadamente 6 m de altura. Considerando que, nesse caso, o atleta tenha conseguido transformar toda a sua energia cinética da corrida de impulso para o salto, em energia potencial gravitacional ao transpor o obstáculo (sarrafo), calcule a sua velocidade, imediatamente, antes de fincar a vara no solo para iniciar o salto. Considere g = 10 m/s.

Solução
Desprezando o peso da vara e supondo que a massa do atleta seja m, temos:

$$EC = EP = m \times \frac{V^2}{2} = m \times g \times h$$

$$V^2 = 2 \times g \times h$$

$$V = \sqrt{2 \times g \times h} = \sqrt{2 \times 10 \times 6} \cong 11 \text{ m/s}$$

Exemplo 02
Um corpo de 5 kg é abandonado de uma altura de 3 metros no vácuo ($g = 10$ m/s²).

Calcule

a) A energia potencial e a cinética antes do corpo ser abandonado.

b) A energia potencial e a cinética quando $h = 1,5$ m.

c) A energia potencial e a cinética quando o corpo chega ao solo.

Solução

a) Energia potencial: $EP = m \times g \times h = 5 \times 10 \times 3 = 150$ J

Energia cinética: $EC = m \times V^2 = 5 \times 0 = 0$ J

b) Energia potencial: $EP = m \times g \times h = 5 \times 10 \times 1,5 = 75$ J

Energia cinética: $V^2 = V_0^2 + 2 \times g \times h$ $\quad V^2 = 0^2 + 2 \times 10 \times 1,5 = 30$

Logo, $EC = m \times V^2 \div 2 = 5 \times 30 \div 2 = 75$ J

c) Energia potencial: $EP = m \times g \times h = 5 \times 10 \times 0 = 0$ J

Energia cinética: $V^2 = V_0^2 + 2 \times g \times h$ $\quad V^2 = 0^2 + 2 \times 10 \times 3 = 60$

Logo, $EC = m \times V^2 \div 2 = 5 \times 60 \div 2 = 150$ J

Podemos verificar que a soma da energia cinética com a energia potencial nos três casos calculados é igual a 150 J.

Concluímos que, quando uma partícula é levada de uma posição inicial até uma posição final, sob ação de um sistema de forças, exclusivamente, conservativas, sua energia mecânica permanece constante (Em = constante).

Resumo

O trabalho de uma força é função da direção do deslocamento entre dois pontos A e B e da intensidade desta força. Este trabalho não depende da trajetória do corpo. A potência associada a este trabalho é definida como sendo o tempo gasto para realizá-lo.

O rendimento é a relação entre a potência útil e a potência total, pois parte da energia total é dissipada, seja por motivos de falha ou até mesmo devido ao atrito. Esta energia dissipada não é perdida, ela é transformada em outros tipos de energia (Lei de Lavoisier).

Por fim, define-se a energia mecânica como sendo a soma da energia potencial e da energia cinética, que mesmo sendo diferentes a sua soma tem sempre o mesmo valor.

Atividades de aprendizagem

1. Uma força constante, horizontal, de intensidade 20 N, atua durante 8,0 s sobre um corpo de massa 4,0 kg que estava em repouso apoiado em uma superfície horizontal perfeitamente sem atrito. Não se considera o efeito do ar. Qual o trabalho realizado pela força no citado intervalo de tempo?

2. Uma esteira rolante transporta 15 caixas de bebida por minuto de um depósito no subsolo até o andar térreo. A esteira tem comprimento de 12 m, inclinação de 30° com a horizontal e move-se com velocidade constante. As caixas a serem transportadas já são colocadas com a mesma velocidade da esteira. Se cada caixa pesa 200 N, qual é a potência do motor que aciona esse mecanismo?

3. Um carro recentemente lançado pela indústria brasileira tem aproximadamente 1,5 toneladas e pode acelerar, sem derrapagens, do repouso até uma velocidade escalar de 108 km/h, em 10 segundos. Despreze as forças dissipadas e adote 1 cavalo-vapor (cv) = 735 W.

a) Qual o trabalho realizado, nessa aceleração, pelas forças do motor do carro?

b) Qual a potência do motor do carro em cv?

4. Um vaso de 2,0 kg está pendurado a 1,2 m de altura de uma mesa de 40 cm de altura. Sendo $g = 10\ m/s^2$, determine a energia potencial gravitacional do vaso em relação:

a) À mesa.

b) Ao solo.

5. Um corpo de massa 10 kg é lançada verticalmente para cima, com velocidade de 40 m/s. Calcule a altura máxima atingida.

6. Qual a massa de uma pedra que foi lançada com uma velocidade de 5 m/s, sabendo-se que nesse instante ele possui uma energia cinética de 25 J?

Aula 3 – Termologia

Objetivos

Estabelecer a diferença entre calor e temperatura.

Compreender o equilíbrio térmico e a dilatação térmica dos corpos.

3.1 Definição de termologia

Termologia é a parte da física que estuda o calor e suas manifestações. Em nossa vida diária, temos nos encontrado diante de situações relacionadas com o calor. Por exemplo, suponha que ao tomarmos um leite quente, diríamos que está: quente, morno, frio ou gelado. Ao tomarmos um sorvete podemos considerar que o mesmo está quente, frio, morno ou gelado.

Para essas suposições podemos dizer que o leite está quente e o sorvete está gelado. Observe que as noções de quente, morno, frio e gelado, que usamos em nossa linguagem diária e que são determinadas pelos órgãos dos nossos sentidos, constituem conceitos primitivos.

Será que é possível, por meio desses conceitos, determinar, perfeitamente, o estado térmico de um corpo? Para responder essa pergunta, precisamos entender o significado de equilíbrio térmico.

3.2 Equilíbrio térmico

Suponha um recipiente com 250 ml de água a uma temperatura de 50ºC e outro recipiente com 250 ml de água a uma temperatura de 10ºC. Se misturarmos o conteúdo dos dois recipientes, em um terceiro recipiente observamos que a água que estava a 50ºC esfria ao passo que a água que estava a 10ºC esquenta de forma que as duas quantidades ficaram com a mesma temperatura, ou seja, 30ºC. Dizemos, então, que aconteceu o equilíbrio térmico.

E se a água que estava a 50ºC for colocada dentro de uma garrafa térmica? Nesse caso, o estado térmico da água permanecerá o mesmo durante várias horas. E, quanto mais tempo se passar antes que ocorra o equilíbrio térmico com o meio externo, tanto mais perfeita será considerada a garrafa térmica que seria ideal se conservasse, indefinidamente, o estado térmico da água, independente do estado térmico do meio externo.

A partir dessas experiências, podemos estabelecer as noções de paredes diatérmicas e paredes adiabáticas.

Paredes diatérmicas é toda parede que permite o estabelecimento do equilíbrio térmico entre os corpos que separa. Exemplo: recipiente de alumínio.

Paredes adiabáticas é toda parede que não permite o estabelecimento do equilíbrio térmico entre os corpos que separa. Exemplo: garrafa térmica.

3.3 Sensações térmicas

Conhecendo o conceito de equilíbrio térmico, podemos retornar ao estudo das sensações térmicas (quente, frio, etc.), transmitidas pelos órgãos dos sentidos.

Se um mesmo observador tocar com a mão direita um corpo de madeira e com a mão esquerda um de metal, ambos tirados de uma estufa, portanto, ambos no mesmo estado térmico, ou seja, em equilíbrio térmico, terá sensações térmicas diferentes: o metal parecerá mais quente que a madeira, pois é melhor condutor de calor.

Agora, se o metal e a madeira, desse exemplo, fossem tirados de uma mesma geladeira, o metal pareceria mais frio, apesar de ambos estarem no mesmo estado térmico, ou seja, em equilíbrio térmico.

Concluímos, então, que a sensação térmica depende da espécie de corpo tocado, varia de um observador para outro e depende, também, das condições que precedem o contato com o corpo.

Estas conclusões demonstram que é impossível, através das noções transmitidas pelos órgãos dos sentidos, caracterizar perfeitamente qualquer estado térmico. Então, para determinar o estado térmico de um corpo, primeiramente, precisamos conhecer o conceito de temperatura.

3.4 Termometria

É a parte da termologia que tem por objetivo o estudo e a medição da temperatura.

3.4.1 Temperatura

Em muitas situações é preciso medir e controlar a temperatura. A própria natureza forneceu aos seres vivos sistemas que regulam o frio e o calor.

Nas aves e nos mamíferos, por exemplo, uma das funções do tecido adiposo, amplamente distribuído sob a pele, é de isolamento térmico, promovendo a defesa do organismo contra perdas excessivas de calor. O tato é um dos sentidos que melhor permite dizer se a superfície de um objeto é quente ou fria. Mas essa avaliação não é exata, pois a sensação despertada pelo tato pode variar de pessoa para pessoa. Então, como podemos definir temperatura?

Sabemos que os corpos são constituídos de pequenas partículas denominadas átomos e que, numa determinada substância, átomos diferentes se agrupam formando as moléculas, então as noções de quente e frio estão relacionadas com a agitação das partículas de um corpo e o movimento das moléculas (agitação térmica) de um corpo é tanto maior quanto mais quente o corpo fica.

Com isso, definimos temperatura como uma grandeza física que permite avaliar o grau de agitação das moléculas de um corpo. Esse movimento de átomos e moléculas está associado a um tipo de energia cinética, denominada energia térmica.

3.4.2 Substâncias e grandezas termométricas

Através de grandezas, como o volume e pressão, podemos identificar a temperatura de um corpo. Tais grandezas são denominadas de grandezas termométricas.

Substâncias que apresentam sensível variação de volume e pressão, quando submetidas a pequenas mudanças de temperatura, caracterizam-se como substâncias termométricas. Elas são as mais adequadas para a construção dos termômetros, sendo o mercúrio a mais comum dessas substâncias.

Para estabelecer uma relação entre a grandeza termométrica e a temperatura, aplicamos a função de 1º grau $t = ah + b$, em que a e b são constantes.

3.4.3 Graduação do termômetro

Na graduação de um termômetro, dois pontos fixos são escolhidos, dois fenômenos que se reproduzem sempre nas mesmas condições: a fusão do gelo e a ebulição da água, ambas sobre pressão normal, Figura 3.1.

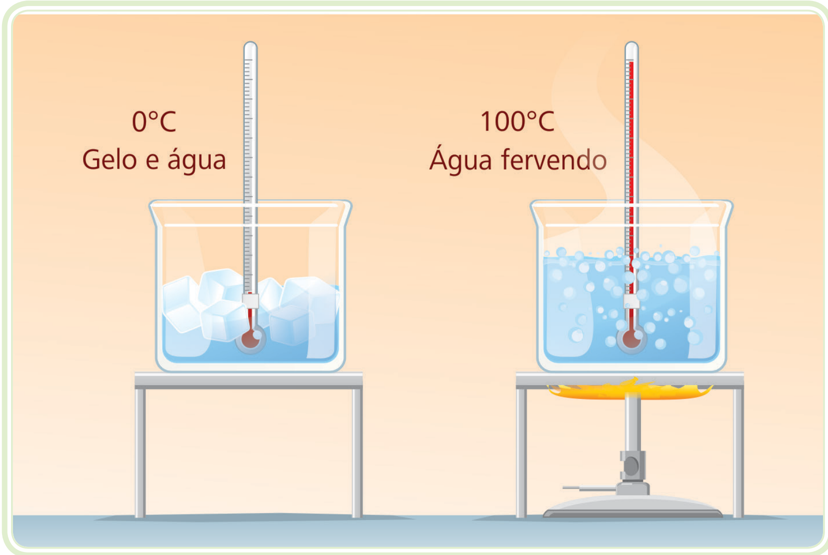

Figura 3.1: Termômetro com dois pontos fixos
Fonte: CTISM

1º ponto fixo – mergulhando o bulbo no gelo em fusão, conforme a Figura 3.1, o mercúrio se contrai até que o gelo, a água proveniente da fusão e o instrumento fiquem em equilíbrio térmico entre si. Marca-se, na haste, o nível do mercúrio com um traço que corresponde, então, à temperatura do gelo em fusão.

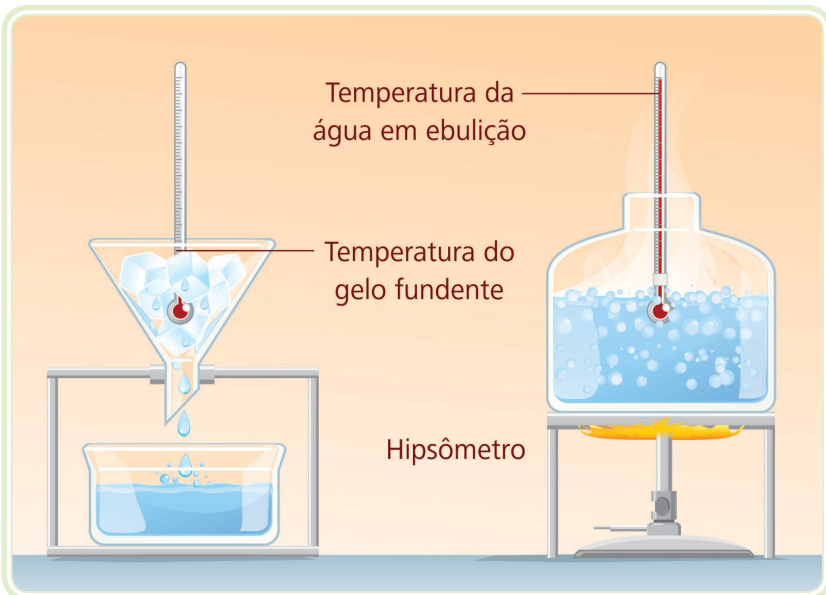

Figura 3.2: Hipsômetro
Fonte: CTISM

2º ponto fixo – o termômetro é colocado em um aparelho chamado hipsômetro, Figura 3.2, de modo que o bulbo fique imerso no vapor da água em ebulição, sob pressão normal. O mercúrio se dilata e o nível se estabiliza quando o conjunto atinge o equilíbrio térmico. Marca-se, então, a posição alcançada pela coluna de mercúrio com um traço que corresponde à temperatura do vapor da água em ebulição, sob pressão normal.

3.4.4 Escalas termométricas

Após a calibração do termômetro, é necessário convencionar para os pontos fixos valores arbitrários, que corresponderão às suas temperaturas. Esse procedimento foi feito em 1742 pelo físico e astrônomo sueco Anders Celsius. Embora, o físico alemão Daniel Fahrenheit, um pouco antes de Celsius, já houvesse estabelecido o valor 32 e 212 respectivamente, para os pontos fixos da escala que recebeu seu nome. Surgiram desse modo, as duas escalas termométricas mais usadas: a escala Celsius ou de graus centígrados e a escala Fahrenheit (Figura 3.3).

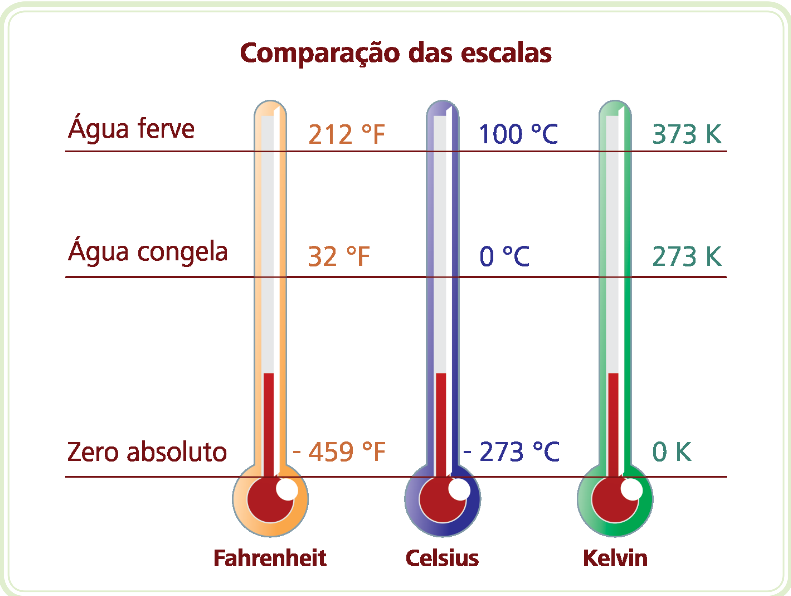

Figura 3.3: Escalas de temperatura
Fonte: CTISM

- **Escala Celsius**

Apresentada em 1742 pelo astrônomo sueco Anders Celsius (1701-1744), essa escala tem divisão centesimal que facilita a leitura. Usando um termômetro de mercúrio, Celsius observou que, ao colocá-lo em contato com a água em ebulição a uma pressão constante, a expansão do mercúrio cessava após algum tempo, pois entrava em equilíbrio térmico com a água e permanecia naquele ponto, enquanto houvesse água em ebulição. Colocando o termômetro em uma mistura de gelo fundente (gelo passando para o estado líquido) e água, a contração do mercúrio também era interrompida no ponto em que o líquido entrava em equilíbrio térmico com a mistura.

Assim, os pontos de ebulição da água e de fusão do gelo permaneceram como pontos fixos da escala Celsius. O intervalo entre eles foi dividido em cem partes iguais, cada um valendo 1ºC (um grau Celsius).

- **Escala Fahrenheit**

Proposta pelo físico alemão Daniel Fahrenheit (1686-1736), que também era fabricante de instrumentos meteorológicos, essa escala faz corresponder 32ºF (trinta e dois graus fahrenheit) o ponto do gelo e 212ºF o ponto de ebulição da água, com divisão em 180 partes iguais entre esses pontos fixos.

- **Escala Kelvin**

As escalas Celsius e Fahrenheit são conhecidas como escalas relativas, pois o zero dessas escalas não significa ausência de agitação molecular.

Foi o físico britânico Lord Kelvin (William Thompson Kelvin, 1824-1907) quem inventou a escala absoluta, a qual leva seu nome. Nessa escala, a temperatura de fusão do gelo corresponde a aproximadamente 273 K e a de ebulição da água, 373 K. A escala Kelvin é absoluta, porque tem origem no zero absoluto de temperatura. Isso significa que a temperatura de um corpo não pode decrescer indefinidamente: seu ponto máximo de resfriamento é o zero absoluto, que corresponde a –273ºC. Inexistente na Terra ou em suas mediações, temperatura próximas ao zero absoluto podem ser alcançadas apenas em laboratório, mas a um custo altíssimo: só as capas especiais para isolamento térmico dos pesquisadores custam por volta de cem mil dólares a peça.

Como a temperatura está relacionada à agitação das moléculas, o corpo com zero absoluto de temperatura não possuiria agitação molecular.

3.4.5 Relações entre as escalas

Agora que já estamos familiarizados com os pontos fixos das três escalas mais usadas, podemos relacioná-las da seguinte forma (Figura 3.4).

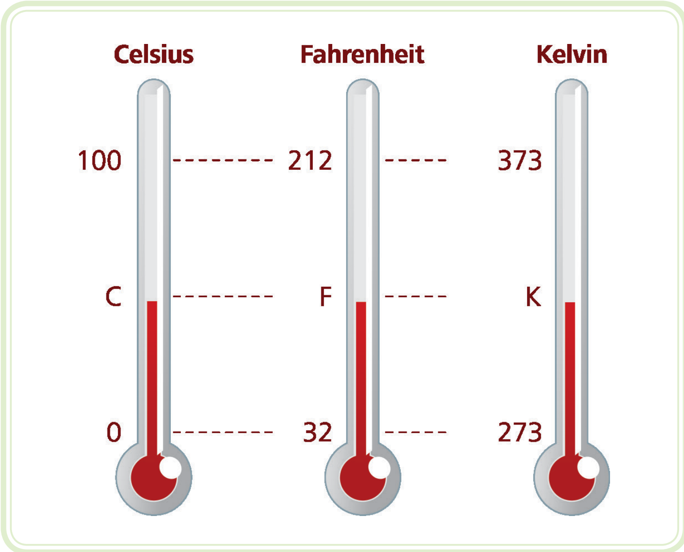

Figura 3.4: Relação entre as escalas de temperatura
Fonte: CTISM

Nos termômetro acima, C, F e K representam leituras nas escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin respectivamente.

Equação 3.1

$$\frac{C - 0}{100 - 0} = \frac{F - 32}{212 - 32} = \frac{K - 273}{373 - 273} \rightarrow \frac{C}{5} = \frac{F - 32}{9} = \frac{K - 273}{5}$$

Exemplo 01

No Rio de Janeiro, a temperatura ambiente chegou a atingir, no verão de 1998, o valor de 45ºC. Qual seria o valor dessa temperatura, se fosse lida num termômetro na escala Fahrenheit?

Solução

As duas escalas que estão se relacionando são: Fahrenheit e Celsius . Portanto, basta aplicar a Equação 3.1:

$$\frac{C}{5} = \frac{F - 32}{9} \rightarrow \frac{45}{5} = \frac{F - 32}{9}$$

$$5 \times F - 5 \times 32 = 9 \times 45 \rightarrow 5 \times F = 405 + 160 \rightarrow$$
$$5 \times F = 565 \rightarrow F = 113°F$$

Exemplo 02

Lê-se no jornal que a temperatura em certa cidade da Rússia atingiu, no inverno, o valor de 14ºF. Qual o valor dessa temperatura na escala Celsius?

Solução

$$\frac{C}{5} = \frac{14 - 32}{9} \rightarrow 9 \times C = -90 \rightarrow C = -10°C$$

Exemplo 03

Um líquido, cuja temperatura é de 50ºF corresponde a quantos graus na escala Kelvin?

Solução

$$\frac{50 - 32}{9} = \frac{K - 273}{5} \rightarrow 9 \times K - 2457 = 90 \rightarrow 9 \times K = 90 + 2457 \rightarrow K = 283\ K$$

Exemplo 04

Um termômetro é graduado numa certa escala E que dá o valor 0ºE para o gelo em fusão e 50ºE para a água em ebulição. Quando esse termômetro marca 10ºE, qual é a temperatura em graus Celsius?

Solução

Observe que os termômetros que estão se relacionando nessa questão, um é o Celsius e o outro é graduado numa escala que tem como pontos fixos 0º e 50º, respectivamente, ponto de fusão do gelo e ebulição da água. Vamos deduzir uma equação termométrica que relacione esses dois termômetros.

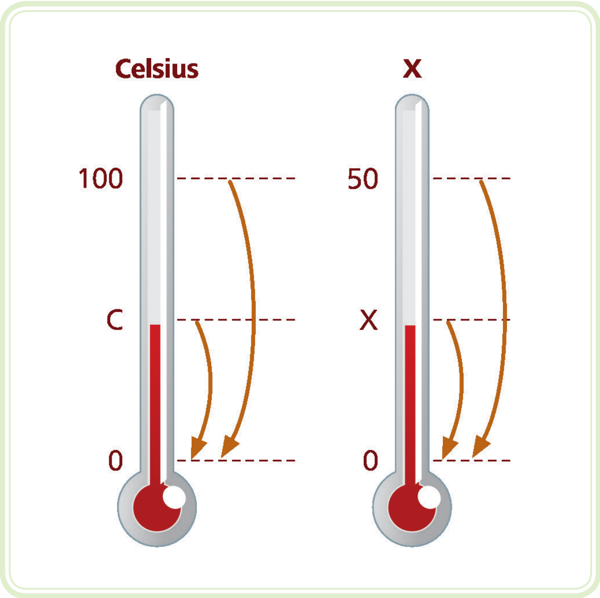

Figura 3.5: Escalas de temperatura Celsius e X
Fonte: CTISM

$$\frac{C - 0}{100 - 0} = \frac{X - 0}{50 - 0} \rightarrow \frac{C}{100} = \frac{X}{50} \rightarrow \frac{C}{100} = \frac{10}{50} \rightarrow 50 \times C = 1000 \rightarrow C = 20°C$$

Exemplo 05

Quando medimos a temperatura de uma pessoa, devemos manter o termômetro em contato com ela durante certo tempo. Por quê?

Solução

É necessário manter o termômetro em contato com o corpo para que o mercúrio entre em equilíbrio térmico com a temperatura do corpo da pessoa. Se colocarmos um objeto quente próximo a um frio, logo os dois estarão na mesma temperatura, ou seja, o calor é transferido do objeto com temperatura maior para o objeto com temperatura menor.

Exemplo 06

Com o objetivo de recalibrar um velho termômetro com a escala, totalmente, apagada, um estudante o coloca em equilíbrio térmico, primeiro, com gelo fundente e, depois, com água em ebulição sob pressão atmosférica normal. Em cada caso, ele anota a altura atingida pela coluna de mercúrio: 10 cm e 30 cm, respectivamente, medida sempre a partir do centro do bulbo. A seguir, espera que o termômetro entre em equilíbrio térmico com o laboratório e verifica que, nessa situação, a altura da coluna de mercúrio é de 18 cm. Qual a temperatura do laboratório na escala Celsius desse termômetro?

Solução

Observe que os pontos fixos dessa escala do termômetro velho são respectivamente 10 e 30.

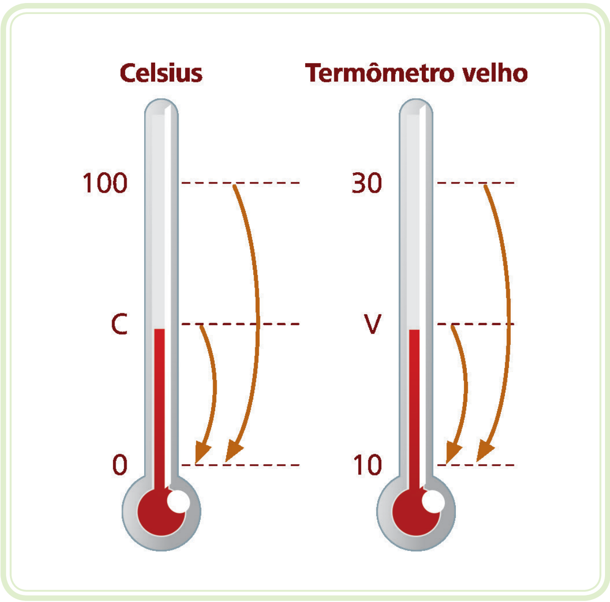

Figura 3.6: Ilustração do Exemplo 06
Fonte: CTISM

De acordo com o enunciado da questão, temos que a altura da coluna de mercúrio é 18 (V = 18). Agora é fazer a relação entre essas duas escalas.

$$\frac{C-0}{100-0} = \frac{V-10}{30-10} \rightarrow \frac{C-0}{100} = \frac{18-10}{20} \rightarrow 20 \times C = 800 \rightarrow C = 40°C$$

Exemplo 07
Um pesquisador dispõe de um termômetro C, de alta precisão, calibrado na escala Celsius e um termômetro F, defeituoso, calibrado na escala Fahrenheit. Para o ponto de gelo, o termômetro F assinala 30°F e, quando o termômetro C indica 40°C, o F indica 106°F. Determine o ponto de vapor no termômetro F.

Solução
Observe na Figura 3.7, o termômetro defeituoso marca 30° no 1° ponto fixo o correto seria 32°, observe também que quando o termômetro na escala Celsius marca 40° o defeituoso marca 106°. Usando a relação entre essas duas escalas, vamos determinar o valor de F, ou seja, o ponto de vapor do termômetro F.

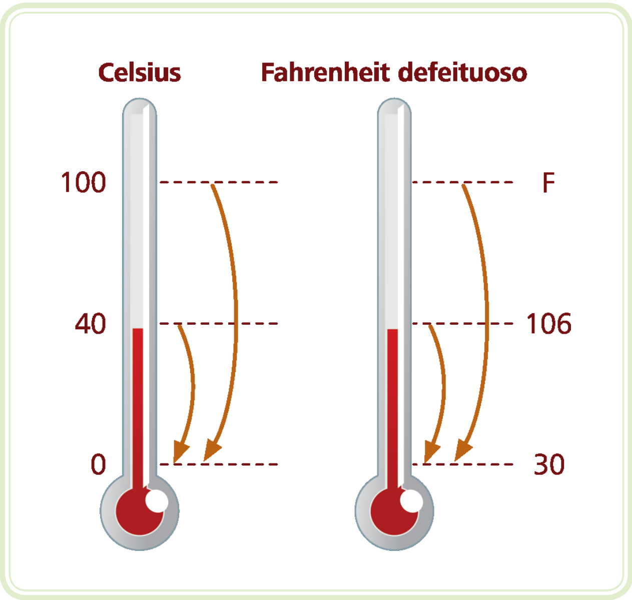

Figura 3.7: Ilustração do Exemplo 07
Fonte: CTISM

$$\frac{40-0}{100-0} = \frac{106-30}{F-30} \rightarrow \frac{40}{100} = \frac{76}{F-30} \rightarrow 40 \times F - 1200 = 7600 \rightarrow F = 220°F$$

3.5 Dilatação térmica

Os objetos são formados por pequenas partículas conhecidas como moléculas. Esses objetos, quando se encontram no estado sólido, terão as suas moléculas, fortemente, ligadas uma nas outras e por isso a sua movimentação se restringe a pequenas oscilações. O grau dessas oscilações determina uma grandeza física muito conhecida por nós, a temperatura. Em outras palavras, quanto mais agitadas estiverem as moléculas, maior será a temperatura. Quanto menor o estado de agitação molecular, menor a temperatura.

Quanto mais agitadas estiverem as moléculas de um determinado objeto, mais afastadas estarão entre si. O resultado disso é um aumento no tamanho do objeto, ou seja, quando aquecido, ele sofre uma dilatação. Por outro lado a diminuição de temperatura provoca, por consequência, a diminuição nas dimensões do corpo, chamada de contração térmica. Esses acontecimentos fazem com que ocorra um aumento ou uma diminuição nas dimensões do corpo, fenômeno esse denominado de dilatação térmica, que pode ocorrer de três formas: linear, superficial e volumétrica.

3.5.1 Dilatação linear

É aquela que ocorre, predominantemente, em uma única dimensão, esse fenômeno só acontece mediante uma variação na temperatura. Exemplo: dilatação em fios, cabos e barras.

Considere uma barra metálica de comprimento inicial L_0 e temperatura inicial T_0. Após ser aquecida por alguns instantes, a barra L_0 sofre um acréscimo que vamos chamar de ΔL. Ao atingir uma temperatura final, o comprimento final dessa barra é $L = L_0 + \Delta L$ (Figura 3.8).

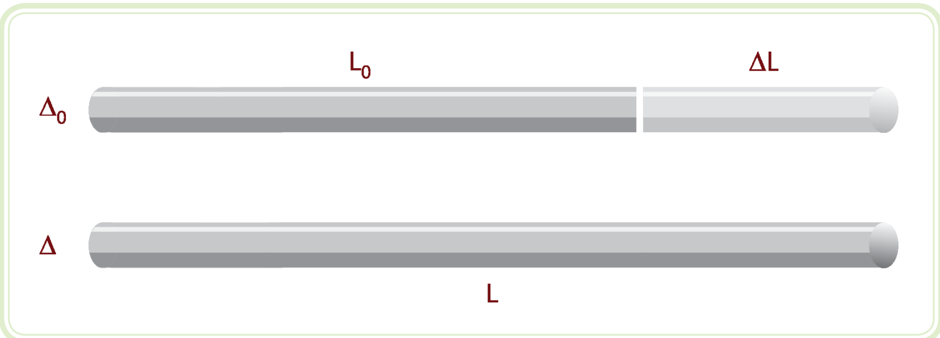

Figura 3.8: Dilatação linear de uma barra
Fonte: CTISM, adaptado de Silva, 2010

Portanto, ΔL é a variação do comprimento, ou seja, a dilatação do comprimento da barra na variação de temperatura ΔT. Verificou-se, experimentalmente, que a variação sofrida pela barra L, depende do material que constitui a mesma e que L é diretamente proporcional ao comprimento inicial L_0 e a variação de temperatura, ou seja:

Equação 3.2

$$\Delta L = L_0 \times \alpha \times \Delta T$$

Onde: ΔL é a variação do comprimento = $L - L_0$
L_0 é o comprimento inicial
α é uma constante de proporcionalidade denominada de coeficiente de dilatação linear e a sua unidade é o $°C^{-1}$
ΔT é a variação de temperatura = $T - T_0$

Cada material tem um coeficiente de dilatação linear próprio, como mostrado no Quadro 3.1.

Quadro 3.1: Coeficiente de dilatação linear de alguns materiais

Material	α (ºC^{-1})	Material	α (ºC^{-1})
Alumínio	$2,4 \times 10^{-5}$	Chumbo	$2,9 \times 10^{-5}$
Prata	$1,9 \times 10^{-5}$	Ferro	$1,2 \times 10^{-5}$
Ouro	$1,4 \times 10^{-5}$	Mercúrio	$4,1 \times 10^{-5}$
Cobre	$1,7 \times 10^{-5}$	Aço	$1,1 \times 10^{-5}$

Fonte: Autor

Se:

Equação 3.3

$$\Delta L = L - L_0 \quad \text{e} \quad \Delta L = L_0 \times \alpha \times \Delta T$$

Então:

Equação 3.4

$$L = L_0 \times [1 + \alpha \times (T - T_0)]$$

Exemplo 01

Uma barra de ouro tem a 10ºC, o comprimento de 200 cm. Determine o comprimento da barra, quando sua temperatura passa a ser 50ºC. O coeficiente de dilatação linear do ouro é $1,4 \times 10^{-5}$ $°C^{-1}$.

Solução

$L = L_0 \times [1 + \alpha \times (T - T_0)]$
$L = 200 \times [1 + 1,4 \times 10^{-5} \times (50 - 10)]$
$L = 200 \times [1 + 56 \times 10^{-5}]$
$L = 200 \times [1 + 0,00056]$
$L = 200,112$ cm

Exemplo 02
O comprimento inicial de uma barra de alumínio é de 300 cm. Quando sofre variação de 40ºC, a sua dilatação é 0,048 cm. Determine o coeficiente de dilatação linear desse material.

Solução
$\Delta L = L_0 \times \alpha \times \Delta T$
$0{,}048 = 300 \times \alpha \times 40$
$\alpha = 0{,}048 \div (300 \times 40)$
$\alpha = 0{,}000004 ºC^{-1}$ ou $4 \times 10^{-6}\ ºC^{-1}$

Exemplo 03
O comprimento de um fio de aço é de 80 m a 30ºC. Determine o seu comprimento quando a temperatura atingir 50ºC, sabendo que o coeficiente de dilatação linear do aço é $1{,}1 \times 10^{-5}\ ºC^{-1}$.

Solução
$L = L_0 \times [1 + \alpha \times (T - T_0)]$
$L = 80 \times [1 + 1{,}1 \times 10^{-5} \times (50 - 30)]$
$L = 80 \times [1 + 22 \times 10^{-5}]$
$L = 80 \times [1 + 0{,}00022]$
$L = 80{,}0176$ m

Exemplo 04
Um trilho de aço tem 20 m de comprimento a –10ºC. Suponha que a temperatura suba para 40ºC e que o coeficiente de dilatação linear do aço seja $1{,}2 \times 10^{-5}\ ºC^{-1}$. Determine, em mm, o acréscimo de comprimento do trilho.

Solução
$\Delta L = L_0 \times \alpha \times \Delta T$
$\Delta L = 20 \times 1{,}2 \times 10^{-5} \times [40 - (-10)]$
$\Delta L = 20 \times 1{,}2 \times 10^{-5} \times 50$
$\Delta L = 1200 \times 10^{-5}$
$\Delta L = 0{,}012$ m

Transformando em mm, temos: $\Delta L = 12$ mm

3.5.2 Dilatação superficial

É aquela em que ocorre variação na área do corpo, predominantemente, em duas dimensões, comprimento e largura, esse fenômeno acontece mediante uma variação na temperatura. Exemplo: placas, chapas e superfícies em geral.

Considere uma chapa metálica de superfície S_0 (superfície inicial) e temperatura T_0 (temperatura inicial), após sofrer uma variação de temperatura, verifica-se que houve uma variação na sua superfície ΔS, passando a superfície final S, conforme mostrado na Figura 3.9.

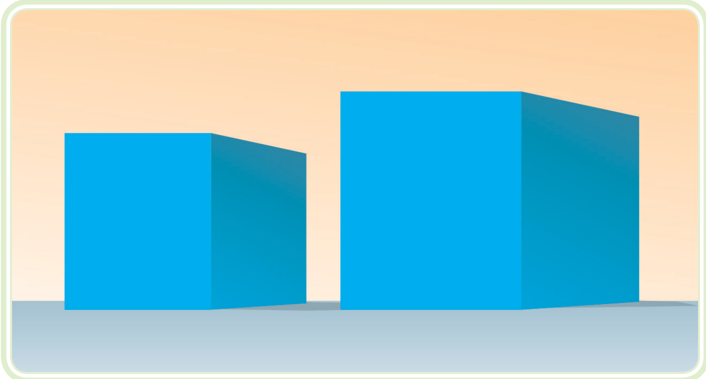

Figura 3.9: Dilatação superficial de um corpo
Fonte: CTISM

Após ser aquecida por alguns instantes, a chapa S_0 sofre um acréscimo que vamos chamar de ΔS. Ao atingir uma temperatura final, a superfície final dessa chapa é S.

Equação 3.5

$$\Delta S = S - S_0 \rightarrow S = S_0 + \Delta S$$

Portanto, ΔS é a variação da superfície, ou seja, a dilatação ocorrida na superfície da chapa devido à variação na temperatura $\Delta T = T - T_0$.

Verificou-se, experimentalmente, que a variação sofrida pela chapa S, depende do material que constitui a mesma e que ΔS é, diretamente, proporcional a superfície inicial S_0 e a variação de temperatura ΔT, de acordo com a relação:

Equação 3.6

$$\Delta S = S_0 \times \beta \times \Delta T$$

Em que β é uma constante de proporcionalidade denominada de coeficiente de dilatação superficial e sua unidade é o $°C^{-1}$. Cada material tem um coeficiente de dilatação superficial próprio e que $\beta = 2 \times \alpha$, como mostrado no Quadro 3.2.

Quadro 3.2: Coeficiente de dilatação superficial para alguns materiais

Material	α (°C^{-1})
Alumínio	$4{,}8 \times 10^{-5}$
Prata	$3{,}8 \times 10^{-5}$
Ouro	$2{,}8 \times 10^{-5}$
Cobre	$3{,}4 \times 10^{-5}$
Chumbo	$5{,}8 \times 10^{-5}$
Ferro	$2{,}4 \times 10^{-5}$
Aço	$2{,}2 \times 10^{-5}$
Mercúrio	$8{,}2 \times 10^{-5}$

Fonte: Autor

Se, $\Delta S = S - S_0$ e $\Delta T = T - T_0$, a superfície final da chapa é dada por:

Equação 3.7

$$S = S_0 \times [1 + \beta \times (T - T_0)]$$

Exemplo 01

Uma determinada superfície de zinco tem uma área de 140 m², quando a temperatura é de 40°C. Qual será sua área após sofrer um aquecimento de 90°C. Sendo $\beta = 5{,}4 \times 10^{-5}$ °C^{-1}.

Solução

$S_0 = 140$ m^2; $T_0 = 40$°C; $T = 90$°C

$S = S_0 \times [1 + \beta \times (T - T_0)]$
$S = 140 \times [1 + 5{,}4 \times 10^{-5} \times (90 - 40)]$
$S = 140 \times [1 + 270 \times 10^{-5}]$
$S = 140 \times [1{,}0027]$
$S = 140{,}378$ m^2

Exemplo 02

Uma chapa de aço tem área de 70 m², a uma temperatura de 50°C. Calcule sua área quando a temperatura atingir 80°C, sabendo que o coeficiente de dilatação superficial do aço é $2{,}2 \times 10^{-5}$ °C^{-1}.

Solução

$S_0 = 70\ m^2$; $T_0 = 50°C$; $T = 80°C$; $\beta = 2{,}2 \times 10^{-5}\ °C^{-1}$

$S = S_0 \times [1 + \beta \times (T - T_0)]$
$S = 70 \times [1 + 2{,}2 \times 10^{-5} \times (80 - 50)]$
$S = 70 \times [1 + 66 \times 10^{-5}]$
$S = 70 \times [1 + 0{,}00066]$
$S = 70{,}0462\ m^2$

Exemplo 03

Uma chapa de chumbo tem área de 20 m², quando sua temperatura é 10°C. Calcule sua área quando a temperatura atingir 50°C. Sendo $\alpha = 2{,}9 \times 10^{-5}\ °C^{-1}$.

Solução

Sabemos que $\beta = 2 \times \alpha = 2 \times 2{,}9 \times 10^{-5} = 5{,}8 \times 10^{-5}\ °C^{-1}$

$S = S_0 \times [1 + \beta \times (T - T_0)]$
$S = 20 \times [1 + 5{,}8 \times 10^{-5} \times (50 - 10)]$
$S = 20 \times [1 + 232 \times 10^{-5}]$
$S = 20 \times [1{,}00232]$
$S = 20{,}0464\ m^2$

Exemplo 04

A variação da área de uma chapa é de 0,08 cm², quando a temperatura passa de 0°C para 250°C. Se a área inicial da chapa era 100 cm², determine o coeficiente de dilatação superficial da chapa.

$S_0 = 100\ cm^2$; $T_0 = 0°C$; $T = 250°C$; $\Delta S = 0{,}08\ cm^2$

$\Delta S = S_0 \times \beta \times \Delta T$
$0{,}08 = 100 \times \beta \times 250$
$\beta = 3{,}2 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$

3.5.3 Dilatação volumétrica

É aquela em que ocorre variação no volume do corpo, predominantemente, em três dimensões, comprimento, largura e altura. Esse fenômeno acontece mediante uma variação na temperatura.

Considere um cubo metálico de volume V_0 (volume inicial) e temperatura T_0 (temperatura inicial), após sofrer uma variação de temperatura, verifica-se que houve uma variação no seu volume ΔV, passando ao volume final (V), conforme Figura 3.10.

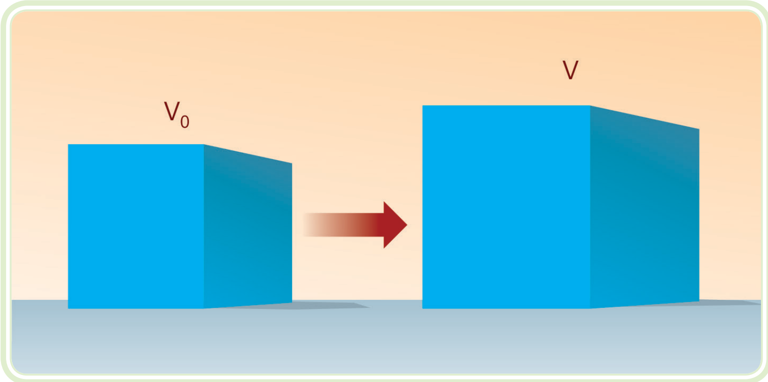

Figura 3.10: Dilatação volumétrica de um corpo
Fonte: CTISM

Observe que o volume inicial V_0 após sofrer uma variação na temperatura seu volume passou para V, havendo assim uma variação no seu volume dado por $\Delta V = V - V_0$.

Portanto, ΔV é a variação do volume, ou seja, a dilatação ocorrida no volume do cubo devido à variação na temperatura $\Delta T = T - T_0$. A variação sofrida pelo cubo ΔV, depende do material que constitui o mesmo e que ΔV é, diretamente, proporcional ao volume inicial V_0 e à variação de temperatura, dado pela relação:

Equação 3.8

$$\Delta V = V_0 \times \gamma \times \Delta T$$

Onde: ΔV é a variação do volume $= V - V_0$
V_0 é o volume inicial
γ é uma constante de proporcionalidade denominada de coeficiente de dilatação volumétrica e sua unidade é o $°C^{-1}$
ΔT é a variação de temperatura $= T - T_0$

Cada material tem um coeficiente de dilatação volumétrica própria e que $\gamma = 3 \times \alpha$, como mostrado no Quadro 3.3.

Quadro 3.3: Coeficiente de dilatação volumétrica para alguns materiais	
Material	**γ (°C^{-1})**
Alumínio	$7{,}2 \times 10^{-5}$
Prata	$5{,}7 \times 10^{-5}$
Ouro	$4{,}2 \times 10^{-5}$
Cobre	$5{,}1 \times 10^{-5}$
Chumbo	$8{,}7 \times 10^{-5}$
Ferro	$3{,}6 \times 10^{-5}$
Aço	$3{,}3 \times 10^{-5}$

Fonte: Autor

Se, $\Delta V = V - V_0$ e $\Delta T = T - T_0$, o volume final do cubo é dado por:

Equação 3.9

$$V = V_0 \times [1 + \gamma \times (T - T_0)]$$

Exemplo 01

Ao ser aquecido de 10°C para 210°C, o volume de um corpo sólido aumenta 0,02 cm^3. Se o volume do corpo a 10°C era 100 cm^3, determine os coeficientes de dilatação volumétrica e linear do material que constitui o corpo.

Solução

T_0 = 10°C; T= 210°C; ΔV = 0,02 cm^3; V_0 = 100 cm^3

Aplicando a equação da dilatação térmica, temos:

$\Delta V = V_0 \times \gamma \times \Delta T$

$0{,}02 = 100 \times \gamma \times 200$

$\gamma = 0{,}000001°C^{-1}$ ou $= 1 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$

Sabemos que $\gamma = 3 \times \alpha$

$\alpha = 1 \times 10^{-6} \div 3 = 0{,}000000333°C^{-1}$ ou $= 3{,}33 \times 10^{-7}\ °C^{-1}$

Exemplo 02

Um paralelepípedo de alumínio ($\alpha = 2{,}4 \times 10^{-5}\ °C^{-1}$) tem, a 20°C, arestas iguais a 1 cm; 1,5 cm e 2 cm. Qual será o seu volume a 30°C?

Solução

Como o volume inicial V_0 é dado pelo produto das arestas, podemos encontrar:

$V_0 = 1\ cm \times 1{,}5\ cm \times 2\ cm = 3\ cm^3$

Como, $\gamma = 3 \times \alpha$, então $\gamma = 3 \times 2,4 \times 10^{-5} = 7,2 \times 10^{-5}\ °C^{-1}$
$V = V_0 \times [1 + \gamma \times (T - T_0)]$
$V = 3 \times [1 + 7,2 \times 10^{-5} \times 10]$
$V = 3 \times [1 + 0,00072]$
$V = 3,00216\ cm^3$

Exemplo 03
Um sólido homogêneo apresenta, a 5°C, um volume igual a 4 dm^3. Aquecido até 505°C, seu volume aumenta para 0,06 dm^3. Qual é o coeficiente de dilatação volumétrica desse sólido?

Solução
$\Delta V = V_0 \times \gamma \times \Delta T$
$0,06 = 4 \times \gamma \times 500$
$\gamma = 0,00003°C^{-1} = 3 \times 10^{-5}\ °C^{-1}$

Resumo
A termometria é a parte da termologia que tem por objetivo o estudo e a medição da temperatura, definida como uma grandeza física que permite avaliar o grau de agitação das moléculas de um corpo. As escalas de temperatura são Celsius, Kelvin e Fahrenheit, relacionadas por:

$$\frac{C}{5} = \frac{F - 32}{9} = \frac{K - 273}{5}$$

Quanto maior a temperatura, mais agitadas estarão as moléculas de um determinado objeto e, consequentemente, mais afastadas elas estarão entre si. O resultado disso é um aumento no tamanho do objeto, ou seja, quando aquecido, ele sofre uma dilatação. Por outro lado, a diminuição de temperatura, como consequência, diminui as dimensões do corpo, isso é chamado de contração térmica. O aumento nas dimensões do corpo pode ser denominado de dilatação térmica, que pode ocorrer de três formas: linear, superficial e volumétrica, cujas expressões são respectivamente:

$$L = L_0 \times [1 + \alpha \times (T - T_0)]$$

$$S = S_0 \times [1 + \beta \times (T - T_0)]$$

$$V = V_0 \times [1 + \gamma \times (T - T_0)]$$

Atividades de aprendizagem

1. Um estudante construiu uma escala de temperatura E atribuindo o valor 0°E à temperatura equivalente a 20°C e o valor 100°E à temperatura equivalente a 104°F. Quando um termômetro graduado na escala E indicar 25°E, outro termômetro graduado na escala Fahrenheit indicará que valor?

2. Uma certa massa de gás perfeito sofre uma transformação isobárica e sua temperatura varia de 293 K para 543 K. A variação da temperatura do gás, nessa transformação, medida na escala Fahrenheit, foi de quanto?

3. Duas barras de 3 metros de alumínio encontram-se separadas por 1 cm à 20°C. Qual deve ser a temperatura para que elas se encostem, considerando que a única direção da dilatação acontecerá no sentido do encontro? (Sendo $\alpha_{Al} = 22 \times 10^{-6}$ °C^{-1})

4. Uma peça de zinco é constituída a partir de uma chapa de zinco com lados 30 cm, da qual foi retirado um pedaço de área 500 cm². Elevando-se de 50°C a temperatura da peça restante, qual será sua área final em centímetros quadrados? (Sendo $\alpha_{Zi} = 2{,}5 \times 10^{-5}$ °C^{-1})

5. Um paralelepípedo de uma liga de alumínio ($\alpha_{Al} = 22 \times 10^{-6}$ °C^{-1}) tem arestas que, à 0°C, medem 5 cm, 40 cm e 30 cm. De quanto aumenta seu volume ao ser aquecido à temperatura de 100°C?

Aula 4 – Calorimetria

Objetivos

Utilizar a equação fundamental da calorimetria.

Identificar a diferença entre o calor sensível e o calor latente.

Caracterizar as formas de transferências de calor: condução, convecção e irradiação.

4.1 Definição de calorimetria

Calorimetria é a parte da física que estuda as trocas de energia entre corpos ou sistemas na forma de calor. Calor significa uma transferência de energia térmica de um sistema para outro, ou seja, podemos dizer que um corpo recebe calor, mas não que ele possui calor.

Todos os corpos são constituídos de partículas. Essas partículas estão em constante estado de movimento, ou seja, são dotadas de energia de agitação ou movimento. Essa energia de movimento é chamada de energia térmica do corpo. Ela depende de vários fatores, como por exemplo: da substância que o constitui, do seu estado de agregação, da sua massa e da sua temperatura.

Sendo a temperatura uma medida do estado de agitação das partículas, concluímos que ela mede o nível da energia térmica do corpo. Assim, se a temperatura de um corpo aumenta, podemos dizer que ele ganhou mais energia térmica.

Quando são colocados em contato dois ou mais corpos que se encontram em diferentes temperaturas, observa-se que, após certo intervalo de tempo, todos atingem uma temperatura intermediária entre as temperaturas iniciais. Durante esse processo, ocorre uma transferência de energia térmica dos corpos de maior temperatura para os de menor temperatura. Essa energia térmica em trânsito denomina-se calor.

Considere dois corpos A e B em diferentes temperaturas T_A e T_B. Colocando-os em contato, verifica-se que a energia térmica é transferida de A para B. Essa energia térmica em trânsito é denominada calor. A passagem de calor cessa quando o equilíbrio térmico for atingido (Figura 4.1).

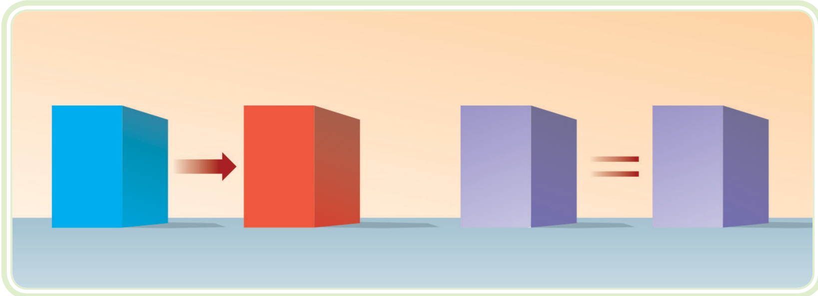

Figura 4.1: Energia transferida até o equilíbrio térmico ser atingido
Fonte: CTISM

A unidade de quantidade de calor é a caloria (cal) que é definida como a quantidade de calor necessária para aumentar a temperatura de 1 g de água de 14,5°C para 15,5°C, sob pressão normal. No SI, a unidade de quantidade de calor é o joule (J). A relação entre a caloria e o joule é: 1 cal = 4,186 J

4.2 Princípios da calorimetria

1º Princípio da transformação inversa

Se você colocar uma chaleira, com água, no fogo e aquecê-la até ferver, poderá dizer que a água e a chaleira receberam certa quantidade de calor do fogo. Desligando o fogo, no instante em que começa a ebulição da água e deixando a chaleira e a água esfriar, dizemos que o sistema está perdendo calor.

A quantidade de calor recebida pela água no aquecimento é igual à quantidade de calor perdida na transformação inversa. Esse é o 1º princípio de calorimetria, que afirma:

"Se na transformação sofrida por um sistema de um estado (1) para um estado (2) for necessário fornecer uma quantidade de calor Q, na transformação inversa, de 2 para 1, será necessário retirar a mesma quantidade de calor Q."

2º Princípio da troca de calor

Colocando vários corpos com temperaturas diferentes dentro de um recinto adiabático, eles constituirão um sistema isolado, isto é, um sistema que não troca calor com o meio externo. Como suas temperaturas são diferentes, haverá trocas de calor entre si, até atingirem o equilíbrio térmico. Portanto, quando dois ou mais corpos, constituindo um sistema isolado, trocam entre si apenas calor, a soma das quantidades de calor cedidas por um é igual à soma das quantidades recebidas pelos outros, isto é:

$$|Q_{recebido}| = |Q_{cedido}| \text{ ou } Q_{recebido} + Q_{cedido} = 0$$

"Quando dois ou mais corpos trocam calor exclusivamente entre si, a soma algébrica das quantidades de calor trocadas pelos corpos, até atingir o equilíbrio térmico é igual a zero."

4.3 Calor sensível e calor latente

Um corpo, ao receber ou ceder calor, pode sofrer dois efeitos diferentes: variação de temperatura ou mudança de fase. A quantidade de calor recebida ou cedida por um corpo, ao sofrer uma variação de temperatura, sem que haja mudança de fase é denominada **calor sensível**. Se o corpo sofrer apenas uma mudança de fase, sem haver variação de temperatura é chamado **calor latente** (Figura 4.2).

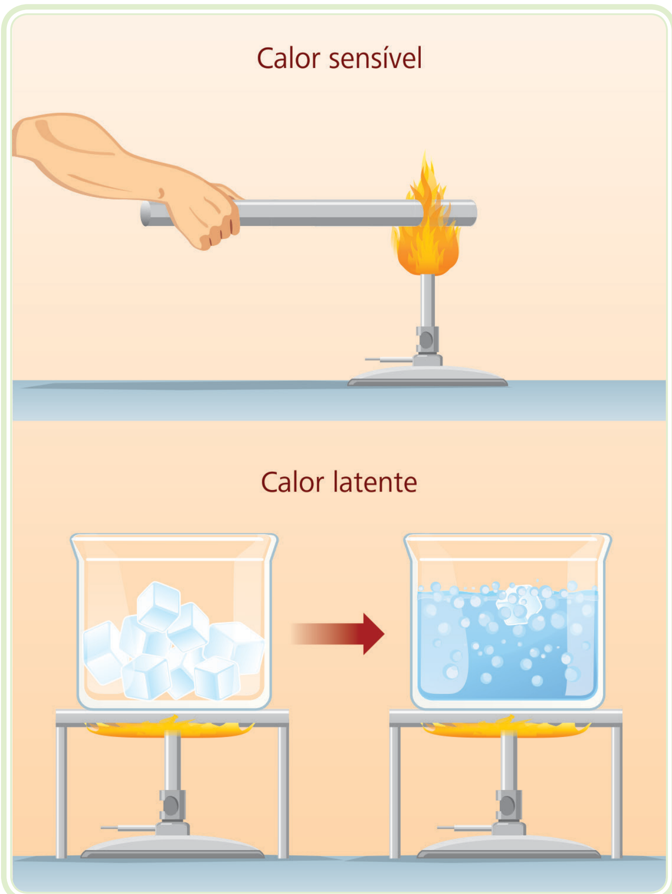

Figura 4.2: Diferença entre calor sensível e latente
Fonte: CTISM

4.3.1 Calor latente

O comportamento das substâncias durante as mudanças de fase pode ser interpretado através dos seguintes fatos:

1º Fato

Para passar da fase líquida para a fase sólida, um grama de água precisa perder 80 cal. Do mesmo modo, para derreter, um grama de gelo precisa ganhar 80 cal. Ou seja, 80 cal representa a quantidade de calor que um grama de água ganha ou perde quando se derrete ou se congela, estando a 0ºC.

2º Fato

Se a água está a 100ºC, cada grama precisa de 540 calorias para passar à fase gasosa e cada grama de vapor precisa perder 540 calorias para passar para a fase líquida.

Outras substâncias, também, possuem valores fixos de quantidades de calor que um grama da substância precisa ganhar ou perder para mudar de uma fase para outra. Essa quantidade de calor é denominada **calor latente** (indicado por L).

Imaginemos um recipiente contendo gelo, inicialmente a 0ºC, Figura 4.3(a). Se colocarmos esse sistema em presença de uma fonte de calor, notaremos que, com o passar do tempo, o gelo se transforma em água, (fusão do gelo), mas a temperatura durante a fusão permanece constante (0ºC), como ilustrado nas Figuras 4.3(b) e 4.3(c). Assim, o sistema está recebendo calor da fonte, mas a temperatura não varia.

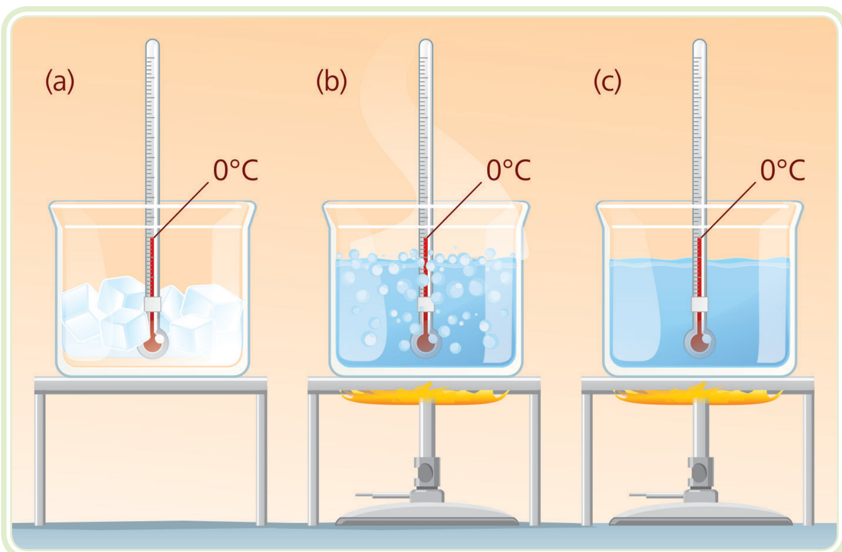

Figura 4.3: Temperatura na mudança de fase
Fonte: CTISM

Quando o gelo se derrete, verifica-se que ele deve receber, por grama, 80 calorias, mantendo-se a temperatura constante em 0ºC. Essa quantidade (80 cal/g) é denominada calor latente de fusão do gelo: L = 80 cal/g.

Assim, definimos calor latente (L) como a quantidade de calor que a substância recebe ou cede por unidade de massa, durante a transformação de uma mudança de fase, mantendo-se constante a temperatura. A quantidade de calor de uma massa de uma substância é, então, dada por:

Equação 4.1

$$Q = m \times L$$

Onde: L é o calor latente (cal/g) (L_F = calor latente de fusão; L_V = calor latente de vaporização; L_S = calor latente de solidificação; L_C = calor latente de condensação)

Temperaturas de fusão e ebulição sob pressão normal e os valores latentes de fusão de algumas substâncias são dados no Quadro 4.1.

Quadro 4.1: Temperaturas de fusão e ebulição e calor latente

Substância	Tf (°C)	L_F (Cal/g)	Tv (°C)	L_V (Cal/g)
Mercúrio	398	2,8	357	65
Álcool	-115	2,5	78	204
Chumbo	327	5,8	-	-
Alumínio	657	9,5	-	-
Prata	961	2,5	-	-
Enxofre	119	13,2	420	62
Oxigênio	-219	3,30	-183	51
Nitrogênio	-210	6,09	-196	48

Fonte: Autor

Exemplo 01

Uma quantidade de 200 g de água a 100ºC, a pressão de uma atmosfera, transformou-se em vapor d´água a 100ºC. Calcule a quantidade de calor recebida pela água, sendo o calor latente de vaporização da água 540 cal/g.

Solução

$Q = m \times L_V = 200 \times 540 = 108000$ cal

Exemplo 02
Um bloco de gelo de massa igual a 500 g encontra-se a 0ºC. Para que todo gelo se derreta, obtendo água a 0ºC, são necessários 28.000 cal. Determine o calor latente de fusão do gelo.

Solução
$Q = m \times L_F \rightarrow 28000 = 500 \times L_F \rightarrow L_F = 56$ cal/g

Exemplo 03
Um recipiente contém 600 g de água a 100ºC. Para transformar toda água em vapor, são necessários 290.000 cal. Determine o calor latente de vaporização da água.

Solução
$Q = m \times L_V \rightarrow 290000 = 600 \times L_V \rightarrow L_V = 483{,}3$ cal/g

Exemplo 04
Um bloco de gelo de massa igual a 300 g encontra-se a 0ºC. Para que todo gelo se derreta, obtendo água a 0ºC, são necessárias 24 kcal. Determine o calor latente de fusão do gelo.

Solução
24 kcal = 24000 cal
$Q = m \times L_F \rightarrow 24000 = 300 \times L_F \rightarrow L_F = 80$ cal/g

4.4 Equação fundamental da calorimetria

Considere um corpo de massa m à temperatura inicial T_0, a quantidade de calor Q é proporcional à massa m e à variação de temperatura $(T - T_0)$:

Equação 4.2

$$Q = m \times c \times (T - T_0)$$

Onde: Q é a quantidade de calor recebido ou cedido (cal)
m é a massa do corpo
c é o calor específico da substância ou material

O calor específico pode ser definido como a quantidade de calor para que uma substância sofra variação de temperatura de 1ºC. A unidade do calor específico pode ser o cal/gºC.

Como exemplo, o calor específico do ferro é 0,11 cal/g°C, isto é, um grama de ferro necessita de 0,11 cal para elevar sua temperatura de 1°C.
O calor específico de algumas substâncias, válidas entre as temperaturas de 0°C a 100°C é mostrado no Quadro 4.2.

Quadro 4.2: Calor específico de algumas substâncias

Substância	Calor específico (cal/g°C)
Mercúrio	0,033
Alumínio	0,217
Cobre	0,092
Chumbo	0,030
Gelo	0,550
Latão	0,094
Água	1
Ar	0,240
Ferro	0,114
Prata	0,056

Fonte: Autor

A capacidade térmica de um corpo (C) é o produto da massa m de um corpo pelo calor específico c do material que o constitui, ou seja:

Equação 4.3

$$C = m \times c \qquad \text{ou} \qquad C = \frac{Q}{\Delta T}$$

Onde: m é a massa do corpo
c é o calor específico do corpo

A capacidade térmica C de um corpo representa a quantidade de calor necessária para que a temperatura do corpo varie de 1°C e sua unidade é cal/°C. Por exemplo, a capacidade térmica C de uma grama de água é 1 cal/°C o que significa que para elevar de 1°C a temperatura de um litro de água (1 kg), são necessárias 1000 cal de calor.

Como a capacidade térmica da água é muito grande, as águas dos mares e dos rios funcionam como reguladoras de temperaturas em locais próximos a eles. A explicação é a seguinte: durante o dia, a água absorve grande quantidade de calor sem se aquecer muito e, durante a noite, libera muito calor sem esfriar muito. Com a areia da praia ocorre o oposto, a capacidade térmica da areia é pequena e faz com que, durante o dia, ela se aqueça rapidamente e, durante a noite, esfria facilmente.

Exemplo 01
Um corpo de massa 200 g é constituído por uma substância de calor específico 0,4 cal/g°C. Determine a quantidade de calor que o corpo deve receber para que sua temperatura varie de 5°C para 35°C.

Solução
m = 200 g; c = 0,4 cal/g°C; T_0 = 5°C; T = 35°

$Q = m \times c \times \Delta T$
$Q = 200 \times 0{,}4 \times (35 - 5)$
$Q = 2400$ cal

Exemplo 02
Qual a temperatura final alcançada por 500 g de ferro, inicialmente, à temperatura de 20°C, quando recebe 800 cal? Sendo c = 0,113 cal/g°C.

Solução
m = 500 g; Q = 800 cal; c = 0,113 cal/g°C; T_0 = 20°C

$Q = m \times c \times \Delta T$
$800 = 500 \times 0{,}113 \times (T - 20)$
$800 = 56{,}5 \times T - 1130$
$56{,}5\ T = 1930$
T = 34,15°C

Exemplo 03
Um corpo de 250 g ao receber 6000 cal aumenta sua temperatura de 40°C para 80°C, sem mudar de fase. Qual o calor específico do material desse corpo?

Solução
m = 250 g; Q = 6000 cal; T_0 = 40°C; T = 80°C

$Q = m \times c \times \Delta T$
$6000 = 250 \times c \times 40$
c = 0,6 cal/g°C

Exemplo 04
Um corpo A, de massa 200 g, de calor específico 0,2 cal/g°C e a 60°C, é misturado com outro corpo B, de massa 100 g, calor específico 0,1 cal/g°C e a 10°C. Qual a temperatura final de equilíbrio térmico?

Solução

Corpo A: $m = 200$ g; $c = 0{,}2$ cal/g°C; $T_0 = 60$°C

Corpo B: $m = 100$ g; $c = 0{,}1$ cal/g°C; $T_0 = 10$°C

$QA + QB = 0$

$200 \times 0{,}2 \times (T - 60) + 100 \times 0{,}1 \times (T - 10) = 0$

$40 \times T - 2400 + 10 \times T - 100 = 0$

$50 \times T = 100 + 2400$

$50 \times T = 2500$

$T = 50$°C

Exemplo 05

A temperatura de 100 g de um líquido cujo valor específico é 0,5 cal/g°C sobe de –10°C até 30°C. Em quantos minutos será realizado esse aquecimento com uma fonte que fornece 50 calorias por minuto?

Solução

$m = 100$ g; $c = 0{,}5$ cal/g°C; $T_0 = -10$°C; $T = 30$°C

$\Delta T = 30 - (-10) = 40$°C

Precisamos saber qual o valor de Q

$Q = m \times c \times \Delta T$

$Q = 100 \times 0{,}5 \times 40$

$Q = 2000$ cal

Em quantos minutos será realizado esse aquecimento com uma fonte que fornece 50 calorias por minuto?

Regra de três: 50 cal $\rightarrow$ 1 minuto

2000 cal $\rightarrow$ X

Então: $50\,X = 2000$

$X = 40$ minutos

4.5 Mudança de fase

Na natureza, as substâncias podem ser encontradas em três diferentes fases, denominadas de: fase sólida, fase líquida e fase gasosa.

Os fatores que determinam o estado em que as substâncias se encontram são a temperatura e a pressão. Ou seja, para cada fase os materiais possuem temperatura e pressão diferentes. Por exemplo, o ferro em condições ambientes apresenta-se no estado sólido, mas se elevarmos a sua temperatura passará a ser líquido. O mesmo acontece com a água. Em condições ambientes essa substância se encontra no estado líquido, contudo, se baixarmos a sua temperatura, passará para o estado sólido.

Todas as vezes que uma substância muda de um estado para outro como, por exemplo, do sólido para o líquido, dizemos que sofreu uma mudança de estado ou mudança de fase. Isso acontece sempre que fornecemos calor a uma substância. Ao fazer isso, provocamos o aumento no grau de agitação dos átomos que constituem a substância e esse aumento faz com que a força de ligação entre eles seja alterada, provocando, dessa forma, a mudança de fase. Todavia, essa mudança de estado também pode acontecer quando retiramos calor de uma substância, nesse caso, a força de ligação entre os átomos será maior. A Figura 4.4 mostra os processos de mudança de fase.

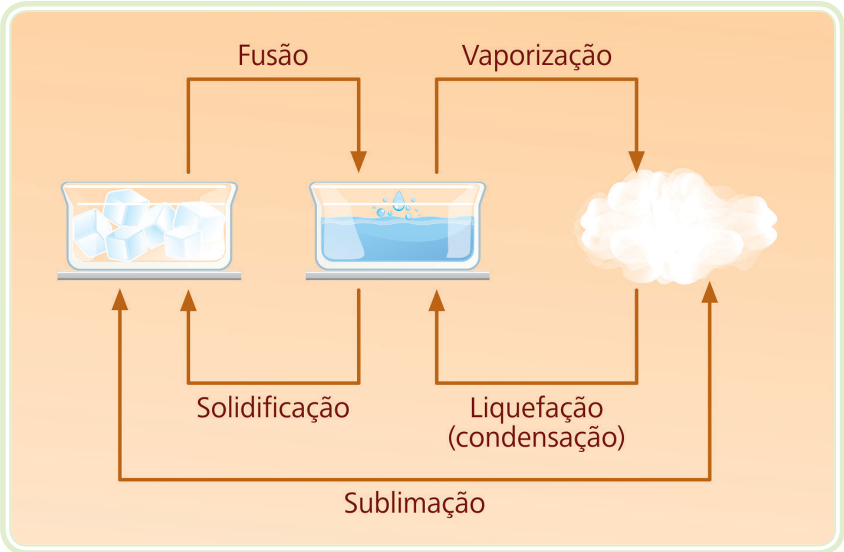

Figura 4.4: Processos de mudança de fase
Fonte: CTISM

4.5.1 Estado sólido

No estado sólido, os átomos que formam as substâncias se encontram, fortemente, ligados através de forças muito intensas. Eles não sofrem movimento de translação, mas estão em constante estado de vibração ao redor da sua posição de equilíbrio. Todas as substâncias que se encontram nessa fase apresentam as seguintes características (Figura 4.5):

- Forma e volumes bem definidos.
- As partículas estão próximas umas das outras e ligadas por forças elétricas intensas.
- Essas fortes ligações não permitem movimentação das partículas no interior do corpo.
- A única movimentação das partículas é causada pela agitação térmica em torno de uma posição de equilíbrio.

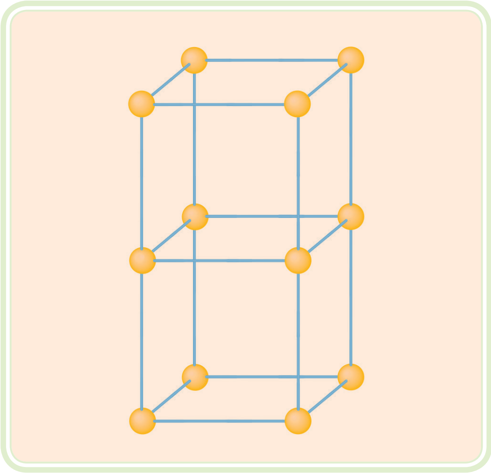

Figura 4.5: Sólido: formas e volumes definidos e as partículas estão rigidamente unidas (retículo cristalino)
Fonte: CTISM

4.5.2 Estado líquido

Nesse estado, as forças existentes entre os átomos são mais fracas, assim eles ficam mais afastados uns dos outros, possuem maior liberdade de vibração, de modo que podem sofrer pequenos movimentos de translações no interior do líquido. As substâncias que se encontram nesse estado possuem as seguintes características (Figura 4.6):

- Volumes bem definidos.
- A forma é a do recipiente que contém a massa líquida.
- As partículas não estão tão próximas, mas ainda há força entre elas.
- Há movimentação das partículas no interior do líquido.

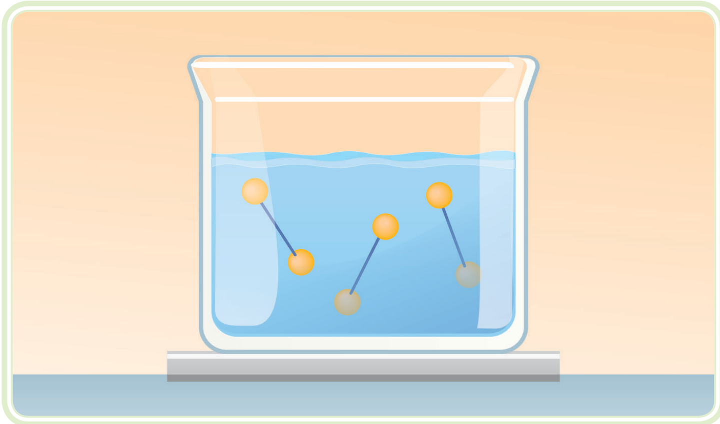

Figura 4.6: Líquido: apenas volume definido e maior liberdade de movimento molecular
Fonte: CTISM

4.5.3 Estado gasoso

Nessa fase, os átomos das substâncias se movimentam, livremente, em todas as direções, fato este que não acontece com os átomos das substâncias que se encontram nos estados sólido e líquido. A movimentação desordenada dessas partículas acontece, porque a força de ligação entre os átomos é tão pequena que se torna quase nula, sendo assim, as substâncias que se encontram nesse estado apresentam (Figura 4.7):

- Volume e forma do recipiente que contém a massa gasosa.
- As partículas estão, praticamente, livres umas das outras.
- Há movimentação (desorganização) das partículas.

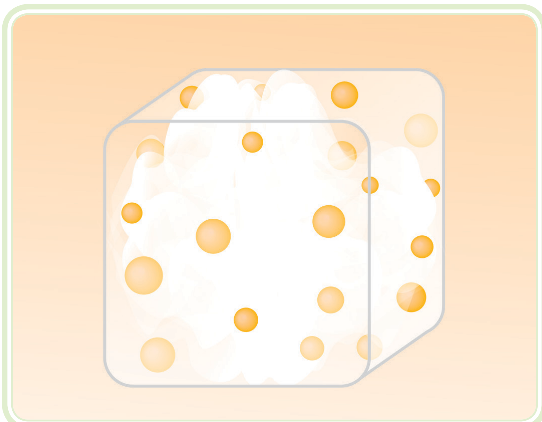

Figura 4.7: Gás: volume e forma do recipiente e a atração das partículas é desprezível
Fonte: CTISM

4.6 Transmissão de calor

O calor é uma forma de energia que flui de um corpo para outro quando existe uma diferença de temperaturas entre eles. A transmissão do calor pode ocorrer através de três processos: condução, convecção e radiação (Figura 4.8).

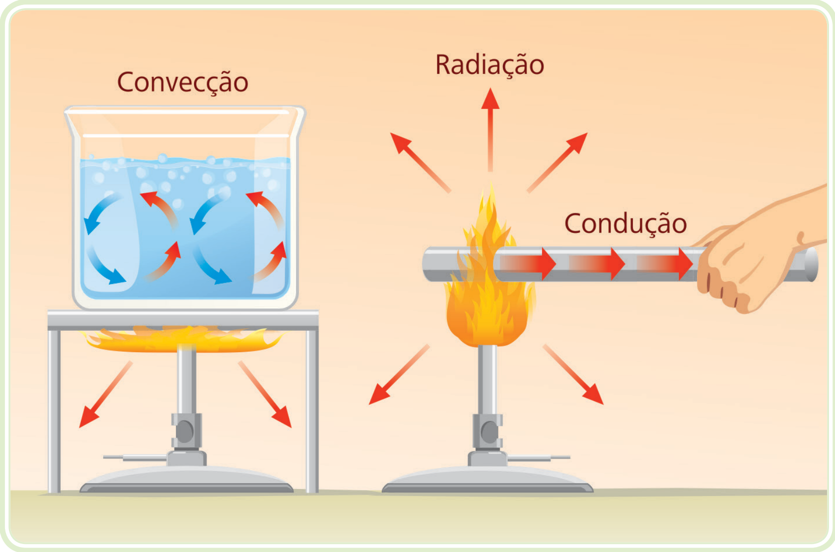

Figura 4.8: Processos de transmissão de calor
Fonte: CTISM

4.6.1 Condução

A condução é o modo pelo qual o calor é transferido através de um meio material, de uma molécula (ou átomo) para sua vizinha. A principal característica da condução é a transferência de energia sem a simultânea transferência de matéria.

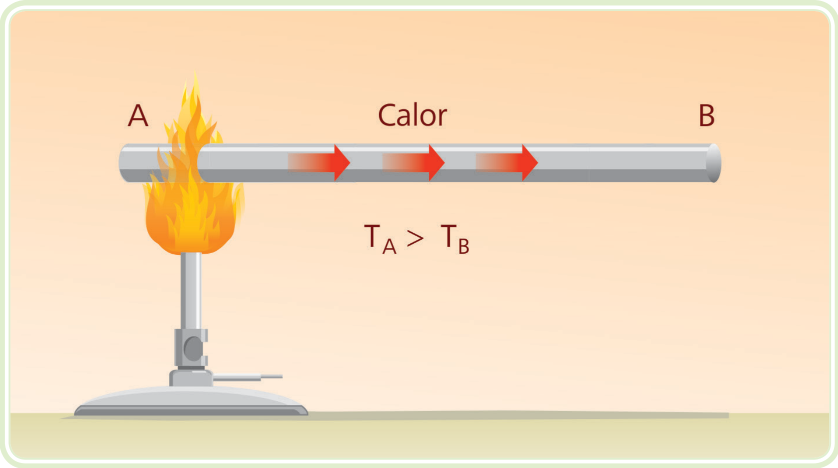

Figura 4.9: Condução de calor em barra
Fonte: CTISM

A Figura 4.9 mostra de forma ilustrativa a condução do calor em uma barra metálica. Note que, como nesse caso, a energia (calor) vai sendo transmitida átomo a átomo, a barra leva certo tempo para ter sua temperatura uniforme novamente.

A rapidez com que o calor é conduzido de uma extremidade a outra da barra vai depender de fatores tais como: comprimento da barra, diferença de temperatura entre suas extremidades, espessura da mesma e do material do qual é feita. Existem materiais que são melhores condutores que outros, tendo uma maior condutibilidade térmica.

4.6.2 Convecção

A convecção é a forma de transmissão do calor que ocorre, principalmente, nos fluidos (líquidos e gases). Diferentemente da condução, em que o calor é transmitido de átomo a átomo sucessivamente, na convecção a propagação do calor se dá através do movimento do fluido, envolvendo transporte de matéria.

Quando certa massa de um fluido é aquecida, suas moléculas passam a mover-se mais rapidamente, afastando-se, em média, uma das outras. Como o volume ocupado por essa massa fluida aumenta a mesma, torna-se menos densa. A tendência dessa massa menos densa no interior do fluido como um todo é sofrer um movimento de ascensão ocupando o lugar das massas do fluido que estão a uma temperatura inferior.

Assim, a parte do fluido mais fria (mais densa) move-se para baixo, tomando o lugar que antes era ocupado pela parte do fluido, anteriormente, aquecido. Esse processo se repete inúmeras vezes, enquanto o aquecimento é mantido dando origem às chamadas correntes de convecção, pois são elas que mantêm o fluido em circulação. Esse processo está ilustrado na Figura 4.10.

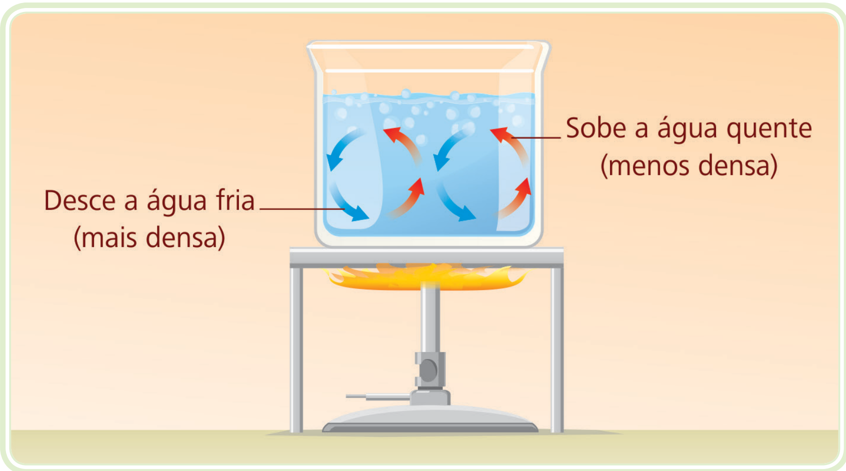

Figura 4.10: Convecção em vaso aberto
Fonte: CTISM

4.6.3 Radiação

A radiação é um processo no qual o calor se propaga sem a necessidade de um meio material. Por exemplo, a principal fonte de calor para a vida no nosso planeta provém do Sol, a radiação emitida pelo mesmo se propaga no espaço vazio até nos atingir. Sabemos que todos os corpos irradiam energia, sendo que esta depende da temperatura do corpo. Coloque a mão próxima a uma fogueira e sinta o calor transferido por radiação pela chama (Figura 4.11).

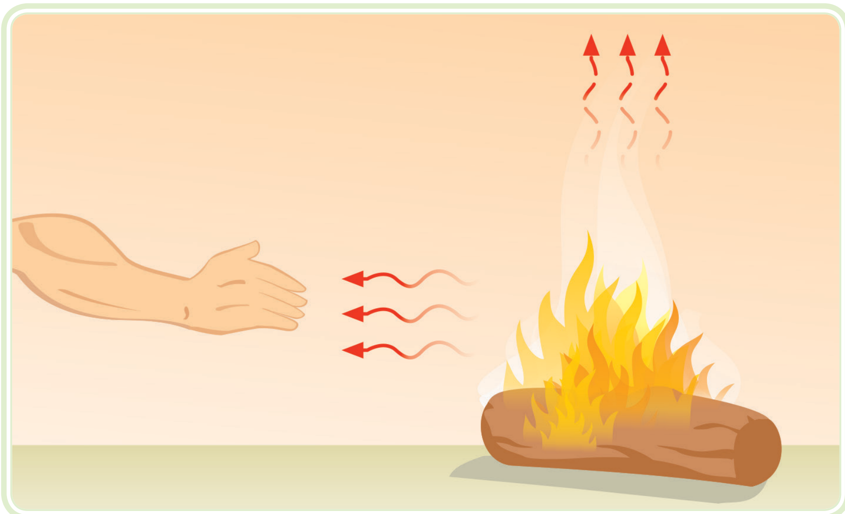

Figura 4.11: Processo de radiação de calor
Fonte: CTISM

Resumo

Calorimetria é a parte da física que estuda as trocas de energia entre corpos ou sistemas, quando as mesmas se dão na forma de calor. Quando são colocados em contato dois ou mais corpos que se encontram em diferentes temperaturas, observa-se que, após certo intervalo de tempo, todos atingem uma temperatura intermediária entre as temperaturas iniciais. Durante esse processo, ocorre uma transferência de energia térmica dos corpos de maior temperatura para os de menor temperatura. Essa energia térmica em trânsito denomina-se calor e a quantidade de calor pode ser calculada pela equação fundamental da calorimetria: $Q = m \times c \times \Delta T$.

O calor pode ser de duas formas, sensível ou latente. O calor sensível é a quantidade de calor recebida ou cedida por um corpo, ao sofrer uma variação de temperatura sem que haja mudança de fase. Enquanto que o calor latente é aquele em que o corpo sofre apenas uma mudança de fase sem haver variação de temperatura. As formas de transmissão deste calor são: condução, convecção e radiação.

Atividades de aprendizagem

1. Ao fornecer 300 calorias de calor para um corpo, verifica-se como consequência uma variação de temperatura igual a 50ºC. Determine a capacidade térmica desse corpo.

2. Para aquecer 500 g de certa substância de 20ºC para 70ºC, foram necessárias 4000 calorias. Calcule a capacidade térmica e o calor específico.

3. Uma quantidade de água líquida de massa m = 200 g, a uma temperatura de 30ºC, é colocada em um calorímetro junto a 150 g de gelo a 0ºC. Após atingir o equilíbrio, dado que o calor específico da água é c = 1,0 cal/gºC e o calor latente de fusão do gelo é L = 80 cal/g, calcule a temperatura final da mistura gelo + água.

4. Quanta energia deve ser dada a uma panela de ferro de 300 g para que sua temperatura seja elevada em 100ºC? Considere o calor específico da panela como c = 450 J/kgºC.

Aula 5 – Ondas

Objetivos

Definir parâmetros de uma onda como: período, frequência, comprimento e velocidade de propagação de onda.

Classificar os tipos de ondas.

Caracterizar os fenômenos de reflexão e refração das ondas mecânicas e eletromagnéticas.

5.1 Conceitos e classificação das ondas

Quando jogamos uma pedra no lago, observamos vários pequenos círculos se formando e a cada instante estes vão aumentando, gradativamente, sobre a superfície da água (Figura 5.1). Esse fenômeno é conhecido como onda.

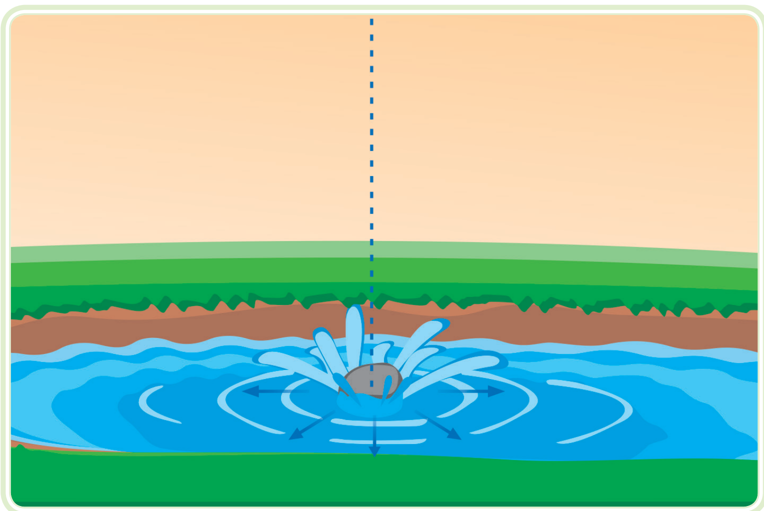

Figura 5.1: Onda na superfície de um lago
Fonte: CTISM

Outro exemplo, quando se faz um pequeno movimento para cima e para baixo em uma corda, nota-se uma pequena perturbação que se propaga ao longo da corda (Figura 5.2).

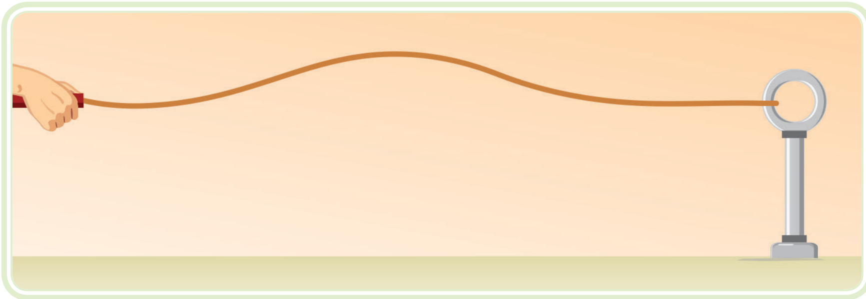

Figura 5.2: Onda em uma corda
Fonte: CTISM

Essa perturbação que ocorre ao longo da corda é também chamada de onda. Então, denomina-se onda o movimento causado por uma perturbação que se propaga através de um meio. Observe a bolinha da Figura 5.3 abaixo:

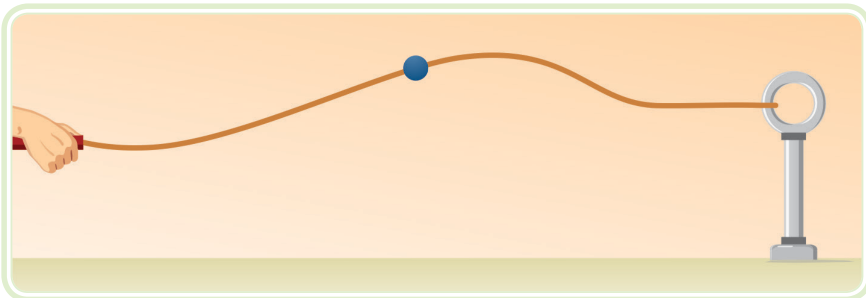

Figura 5.3: Perturbação ao longo de uma corda
Fonte: CTISM

Veja que, quando a onda que se propaga na corda passa pela bolinha, esta passa a se deslocar na direção vertical, acompanhando a onda.

No entanto, quem se desloca ao longo da corda é uma perturbação que transporta energia. O fato do ponto se movimentar mostra que a onda lhe cedeu energia. Porém, como ele retorna ao ponto inicial, demonstra que não houve transporte de matéria. Essa é uma característica de todas as ondas.

Dessa forma, podemos definir uma onda como uma perturbação que se propaga em um meio e que transmite energia e quantidade de movimento de um ponto a outro, sem transporte de matéria. A classificação das ondas pode ser quanto à natureza, ao número de dimensões do meio e à direção de vibração.

Quanto à natureza as ondas podem ser:

- **Mecânicas** – onda do mar, som, onda em uma corda, etc.

- **Eletromagnéticas** – luz, TV, micro-ondas, etc.

- **Onda de matérias** – estudada em mecânica quântica.

Quanto ao número de dimensões do meio:

- **Unidimensionais** – quando a onda se propaga apenas em uma dimensão. Exemplo: corda.

- **Bidimensionais** – quando a onda se propaga através de um plano (duas dimensões). Exemplo: ondas na água.

- **Tridimensionais** – quando a onda se propaga através do espaço (três dimensões), como as ondas ocasionadas por uma explosão.

Quanto à direção de vibração:

- **Transversais** – quando a direção de vibração é perpendicular à direção de propagação.

- **Longitudinais** – quando a direção de vibração é a mesma da direção de propagação.

Na Figura 5.4 se observa uma onda mecânica. Esta onda denomina-se de pulso, quando existe apenas uma perturbação que se propaga pelo meio.

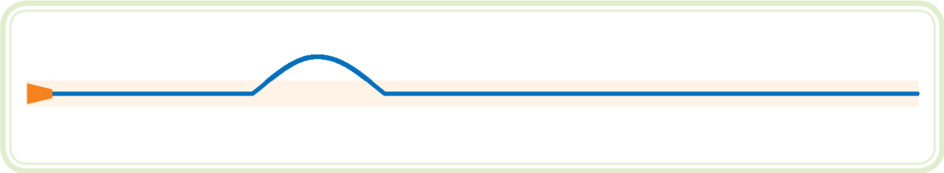

Figura 5.4: Onda com apenas uma perturbação (pulso)
Fonte: CTISM

Esta sequência de ondas, da Figura 5.5, denomina-se trem de ondas, quando existe mais de um pulso que se propaga no meio.

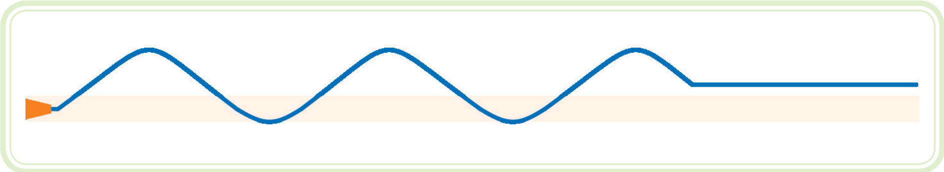

Figura 5.5: Trem de ondas
Fonte: CTISM

5.1.1 Amplitude de onda

Vamos apresentar dois tipos de amplitude:

Primeiro – os atritos internos são desprezíveis, todos os pontos vibraram com a mesma amplitude da fonte (Figura 5.6).

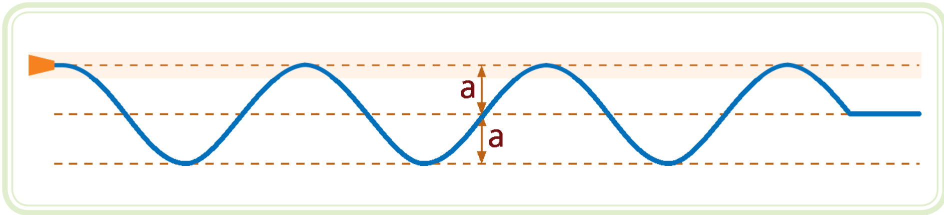

Figura 5.6: Onda com mesma amplitude
Fonte: CTISM

Segundo – os atritos internos não são desprezíveis, ocorrerá uma redução gradual da amplitude (Figura 5.7).

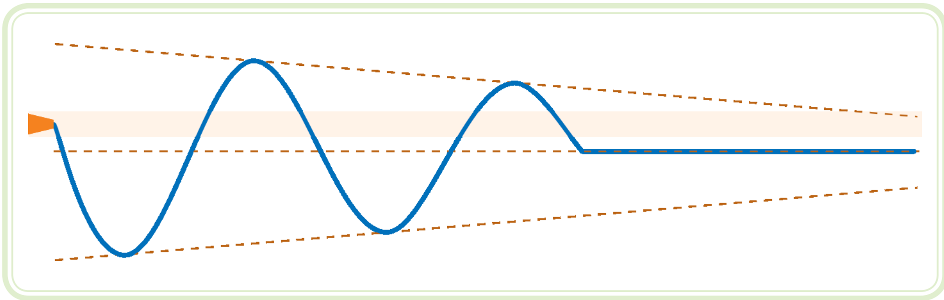

Figura 5.7: Onda com redução da amplitude
Fonte: CTISM

5.1.2 Comprimento de onda

Denomina-se comprimento de onda (λ) a distância percorrida pela onda em um intervalo de tempo igual ao período T (Figura 5.8).

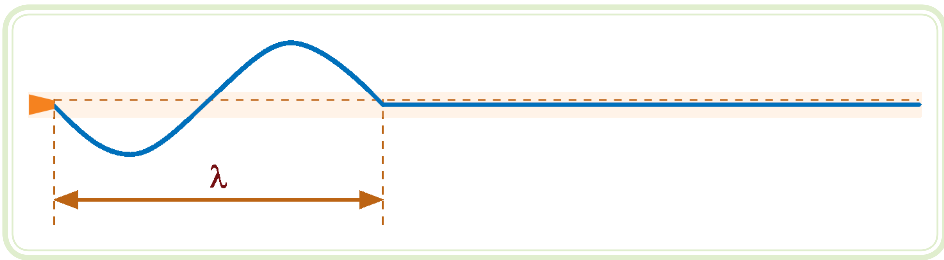

Figura 5.8: Comprimento de onda
Fonte: CTISM

Para uma melhor visualização, observe as Figuras 5.9, 5.10 e 5.11.

- O comprimento de onda é a distância entre dois pontos mais altos sucessivos que são chamados cristas (Figura 5.9).

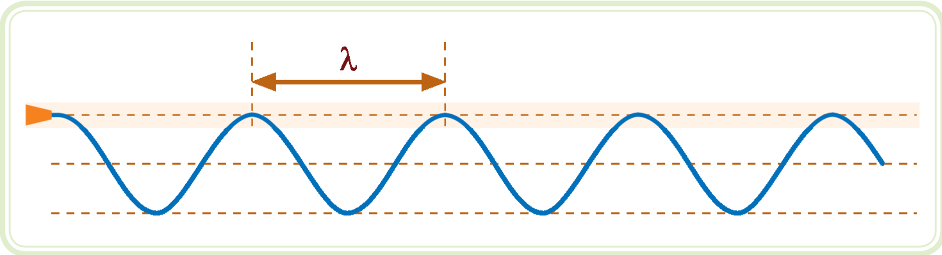

Figura 5.9: Comprimento de onda nas cristas
Fonte: CTISM

- O comprimento de onda é a distância entre dois pontos mais baixos sucessivos que são chamados vales (Figura 5.10).

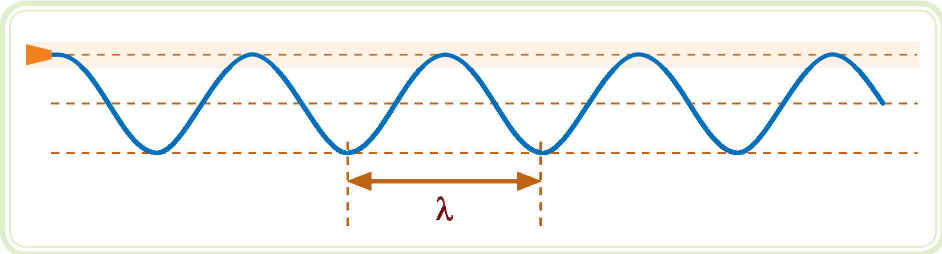

Figura 5.10: Comprimento de onda nos vales
Fonte: CTISM

- Meio comprimento de onda é a distância entre dois pontos sucessivos na posição de equilíbrio (Figura 5.11).

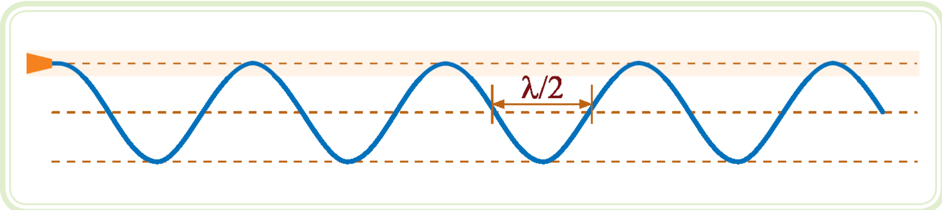

Figura 5.11: Meio comprimento de onda
Fonte: CTISM

5.1.3 Velocidade de propagação de uma onda unidimensional

Vamos considerar uma corda de massa m e comprimento ℓ, sob a ação de uma força de tração F. Suponha que a mão de uma pessoa, agindo na extremidade livre da corda, realize um movimento vertical, periódico, de sobe e desce. Uma onda passa a se propagar, horizontalmente, com velocidade V.

A velocidade de propagação da onda depende somente das características da corda e não da frequência do movimento da mão.

Equação 5.1

$$V = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Onde: F é a força de tração na corda
$\mu = m/\ell$ é a densidade linear da corda

5.1.4 Ondas periódicas

Considere um movimento vertical de sobe e desce, na extremidade, de uma corda, conforme Figura 5.12.

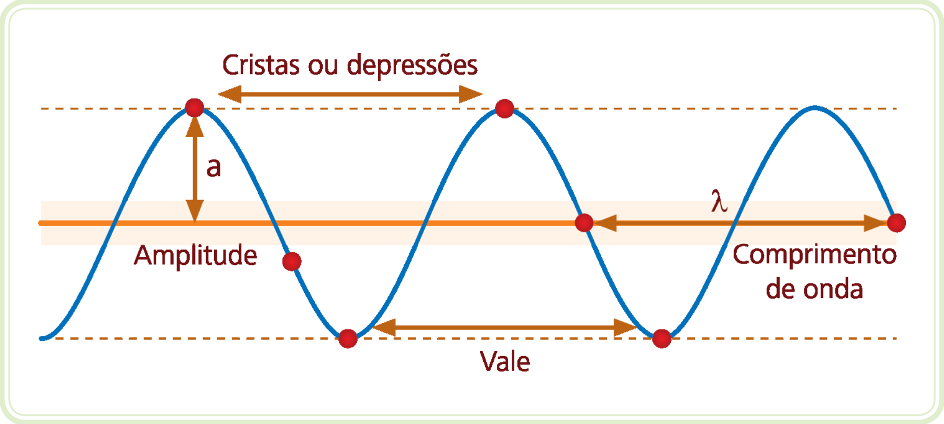

Figura 5.12: Onda periódica
Fonte: CTISM

Esses impulsos causarão pulsos que se propagam ao longo da corda em espaços iguais, pois os impulsos são periódicos. O período (T) é o tempo necessário para que duas cristas consecutivas passem pelo mesmo ponto e é igual o inverso da frequência. A frequência (f) é o número de cristas consecutivas que passam por um mesmo ponto, em cada unidade de tempo, ou seja:

Equação 5.2

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

Como um pulso se propaga com velocidade constante, podemos escrever a expressão:

Equação 5.3

$$S = V \times t$$

Fazendo $S = \lambda$

Temos $t = T$

E assim:

Equação 5.4

$$\lambda = V \times t = V \times \frac{1}{f}$$

Dessa forma temos a "Equação fundamental das ondas":

Equação 5.5

$$V = \lambda \times f$$

Exemplo 01

A onda da Figura 5.13 é formada por um vibrador de 3600 rpm.

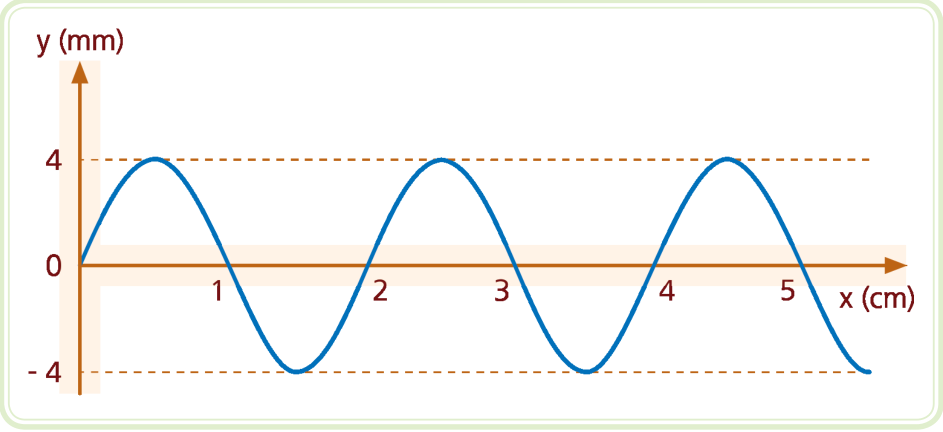

Figura 5.13: Onda formada por um vibrador de 3600 rpm
Fonte: CTISM, adaptado de Silva, 2010

Determine

a) O comprimento de onda (λ).

b) A amplitude (a).

c) A velocidade de propagação da onda (V).

Solução

a) Do gráfico, observa-se que a repetição se inicia a cada 2 cm. Dessa forma, temos, $\lambda = 2$ cm.

b) Ainda observando o gráfico, temos que o máximo valor de y é 4 mm. Portanto, a amplitude é a = 4 mm.

c) A frequência é f = 3600 rpm.
$f = 3600 \div 60 = 60$ Hz.

$V = \lambda \times f \rightarrow V = 2 \times 60 \rightarrow V = 120$ cm/s

Exemplo 02

Um rádio receptor opera em duas modalidades: uma, AM, cobre o intervalo de 550 a 1550 kHz e outra FM, de 88 a 108 MHz. A velocidade das ondas eletromagnéticas vale 3×10^8 m/s. Quais, aproximadamente, o menor e o maior comprimento de onda que podem ser captados por esse rádio?

Solução

Como $V = \lambda \times f$, o menor comprimento de onda corresponde a maior frequência e o maior comprimento de onda corresponde a menor frequência.

O menor comprimento de onda é $f = 108 \times 10^6$ Hz,

$V = \lambda \times f \rightarrow 3 \times 10^8 = \lambda \times 108 \times 10^6 \rightarrow \lambda \approx 2{,}8$ m

O maior comprimento de onda é $f = 550 \times 10^3$ Hz, então

$3 \times 108 = \lambda \times 550 \times 10^3 \rightarrow \lambda \approx 545$ m

Exemplo 03

Um arame de aço, com 1 m de comprimento e 10 g de massa, é esticado com uma força de tração de 100 N. Determine a velocidade de propagação de um pulso transversal nesse arame.

Solução

Dados: $m = 10\ g = 10^{-2}$ kg; $\ell = 1$ m; T = 100 N

$$V = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Onde: $\mu = m/\ell$

$\mu = 10^{-2}$ kg ÷ 1 m

$\mu = 10^{-2}$ kg/m

$$V = \sqrt{\frac{100}{10^{-2}}} \rightarrow V = 100 \text{ m/s}$$

5.1.5 Reflexão de um pulso numa corda

Observa-se que, quando um pulso se propaga ao longo de uma corda, ao atingir sua extremidade, pode retornar ao meio em que estava se propagando. Chamamos este fenômeno de reflexão.

Imagine uma corda esticada e fixada em uma parede, como mostra a Figura 5.14. Ao sacudir a corda na extremidade livre, produz-se um pulso de onda para cima com direção à parede. Quando a onda (pulso) atinge a parede (P) ela é refletida com o pulso invertido, ocorrendo então o que chamamos de inversão de fase.

Figura 5.14: Reflexão de um pulso com inversão de fase
Fonte: CTISM

Suponha que uma corda esticada esteja presa a um anel que pode se mover livremente para cima e para baixo. Ao sacudirmos a extremidade livre, produz-se então um pulso de onda para cima em direção a P. Quando a onda atingir o ponto P, ela produzirá uma elevação no anel, que logo sofrerá uma queda provocando a onda refletida sem inversão de fase, como mostra a Figura 5.15.

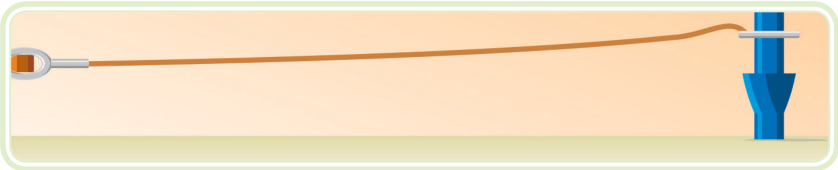

Figura 5.15: Reflexão de um pulso sem inversão de fase
Fonte: CTISM

5.1.6 Refração de um pulso numa corda

Quando um pulso, que se propaga em uma corda A de maior densidade, passa para uma corda B de menor densidade, dizemos que ele sofreu uma refração.

É provado, experimentalmente, que, quando um pulso passa de um meio para outro, a frequência não se modifica.

Equação 5.6

$$f_A = f_B \rightarrow \frac{V_A}{\lambda_A} = \frac{V_B}{\lambda_B}$$

Exercício 01

Uma onda propaga-se numa corda A com velocidade de 10 m/s e comprimento de onda 20 cm. Ao atingir outra corda B, sua velocidade passa para 25 m/s. Determine o comprimento de onda na corda B.

Solução

Ao passar da corda A para corda B, a frequência não se altera. Ou seja,

$$f_A = f_B \rightarrow \frac{V_A}{\lambda_A} = \frac{V_B}{\lambda_B} \rightarrow \frac{10}{0{,}2} = \frac{25}{\lambda_B} \rightarrow \lambda_B = 0{,}5\ m = 50\ cm$$

5.1.7 Equação da onda

Vamos agora considerar uma onda se propagando a uma velocidade V, numa corda, levemente, tracionada. Considerando um sistema cartesiano ortogonal (x, y) (Figura 5.15).

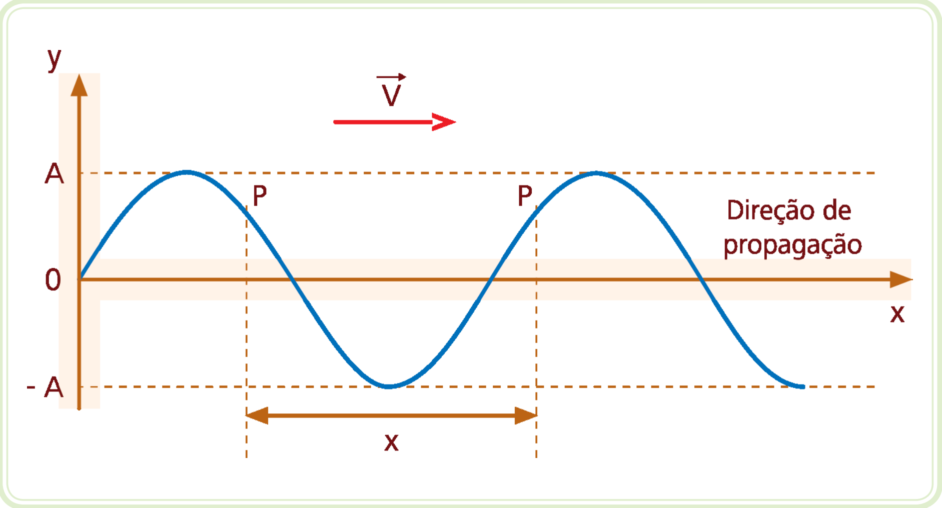

Figura 5.15: Direção de propagação de uma onda
Fonte: CTISM

A-Z
MHS
Movimento Harmônico Simples que ocorre quando o corpo oscila periodicamente em torno de uma posição de equilíbrio, descrevendo uma trajetória. Ocorre em razão da ação de uma força restauradora.

Para cada ponto da corda atingido por uma perturbação, executa um **MHS**.

Portanto, para o ponto P vale a função do MHS:

Equação 5.7

$$Y = a \times \cos(\omega \times t)$$

O ponto P' repetirá, identicamente, a oscilação do ponto P, porém, com um atraso de t' segundos proporcional à distância x.

Para o ponto P' temos:

$$Y = a \times \cos(\omega \times (t - t'))$$

$$X = v \times t' \rightarrow t' = \frac{X}{v}$$

Substituindo as equações acima na Equação 5.8:

Equação 5.8

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Encontra-se:

Equação 5.9

$$Y = a \times \cos\left[\frac{2\pi}{T} \times \left(t - \frac{X}{V}\right)\right] \rightarrow Y = a \times \cos\left[2\pi \times \left(\frac{t}{T} - \frac{X}{V \times T}\right)\right]$$

Equação da onda:

Equação 5.10

$$Y = a \times \cos\left[2\pi \times \left(\frac{t}{T} - \frac{X}{\lambda}\right)\right]$$

Exemplo 01

Uma onda que se propaga ao longo da direção x é descrita pela equação $Y(x,t) = 3 \times \cos(8\pi \times t - 2\pi \times x)$, em que x e y estão em centímetros e t em segundos.

Determine

a) O período e o comprimento de onda.

b) A velocidade de propagação da onda.

Solução

$$Y = a \times \cos\left[2\pi \times \left(\frac{t}{T} - \frac{X}{\lambda}\right)\right]$$

a) $T = ¼\ s$; $\lambda = 1\ cm$

b) $V = \lambda \div T = 1 \div (¼) = 4\ cm/s$

Exemplo 02

Uma onda se propaga de acordo com a função:

$Y = 4 \times \cos[2\pi \times (10 \times t - 2 \times x)]$, para x e y em cm e t em segundos.

Determine

a) A amplitude da onda.

b) O comprimento de onda.

c) O período da onda.

d) A velocidade de propagação.

Solução

$Y = 4 \times \cos[2\pi \times (10 \times t - 2 \times x)]$

A equação horária $Y = a \times \cos[2\pi \times (t \div T - x \div \lambda)]$

Comparando a equação da questão com a equação horária, temos:

a) $a = 4\ cm$

b) $1 \div \lambda = 2 \rightarrow \lambda = 0,5\ cm$

c) $-1 \div T = 10 \rightarrow T = 0,1\ s$

d) $V = \lambda \div T = 0,5 \div 0,1 = 5\ cm/s$

5.2 Teoria ondulatória da luz

Maxwell estabeleceu teoricamente que: "A luz é uma modalidade de energia radiante que se propaga através de ondas eletromagnéticas".

Hertz, 15 anos após a descoberta de Maxwell, comprovou experimentalmente a teoria ondulatória, usando um circuito oscilante. Características de uma onda: comprimento de onda (λ) e frequência (f).

A velocidade da onda é dada pelo produto do comprimento de onda, pela frequência f, ou seja, este produto é constante para cada meio: $V = \lambda \times f$, onde $f = 1 \div T$.

Quando parecia que realmente a natureza da luz era onda eletromagnética, essa teoria não conseguia explicar o fenômeno de emissão fotoelétrica, que é a ejeção de elétrons quando a luz incide sobre um condutor.

Einstein (1905) usando a ideia de Planck (1900), mostrou que a energia de um feixe de luz era concentrada em pequenos pacotes de energia, denominados fótons, que explicava o fenômeno da emissão fotoelétrica.

A luz tem caráter dual: os fenômenos de reflexão, refração, interferência, difração e polarização da luz podem ser explicados pela teoria ondulatória e os de emissão e absorção podem ser explicados pela teoria corpuscular.

Resumo

Onda é uma perturbação que se propaga em um meio e que transmite energia e quantidade de movimento de um ponto a outro, sem transporte de matéria. A classificação das ondas pode se dar referente à natureza (mecânicas, eletromagnéticas e de matérias), ao número de dimensões do meio (uni, bi e tridimensionais) e à direção de vibração (transversais e longitudinais).

As ondas podem sofrer reflexão e refração. A reflexão é observada quando um pulso se propaga ao longo de uma corda, ao atingir sua extremidade, pode retornar ao meio em que estava se propagando. A refração numa corda é observada quando um pulso que se propaga em uma corda A de maior densidade, passa para uma corda B de menor densidade.

Atividades de aprendizagem

1. Calcule o comprimento de onda de uma onda cuja frequência é 60 Hz e se propaga com velocidade de 3 m/s?

2. Calcule a velocidade de propagação de uma onda de comprimento de onda igual a 2×10^{-9} m e $1{,}5 \times 10^{17}$ Hz de frequência.

3. Para pesquisar a profundidade do oceano numa certa região, usa-se um sonar instalado num barco em repouso. O intervalo de tempo decorrido entre a emissão do sinal (ultrassom de frequência 75 kHz) e a resposta do barco (eco) é de 1 s. Supondo o módulo de velocidade de propagação do som na água igual a $1{,}5 \times 10^3$ m/s, qual é a profundidade do oceano, na região considerada?

4. Uma onda transversal se propaga obedecendo uma função do MHS dada por: $y = 4{,}0 \cos[2\pi \times (20 \times T - 4{,}0 \times x)]$. Qual o módulo da velocidade de propagação dessa onda?

5. Uma onda se propaga no meio 1, não dispersivo, com velocidade v_1, frequência f_1, e comprimento de onda λ_1. Ao penetrar no meio 2, sua velocidade de propagação v_2 é três vezes maior que v_1, sua frequência é f_2 e seu comprimento de onda é λ_1. Qual a relação entre as frequências e os comprimentos de onda dos meios?

Aula 6 – Óptica

Objetivos

Conhecer os fenômenos óticos de reflexão, refração e absorção da luz em lâminas paralelas, espelhos esféricos e lentes.

6.1 Corpos luminosos e corpos iluminados

O Sol, as estrelas, uma lâmpada ou uma vela, acesas, são objetos que emitem luz própria, isto é, produzida por si próprio. São corpos luminosos. A maioria dos corpos que nos cercam, porém, enviam luz somente depois de a receberem de algum corpo luminoso. São os chamados corpos iluminados. A mesa, o livro ou a poltrona são corpos iluminados porque refletem a luz emitida por corpos luminosos. A Lua fica visível ao anoitecer porque reflete a luz do Sol. Conforme a quantidade de luz que deixam passar e a propagação, os meios classificam-se em: transparentes, translúcidos e opacos.

- Meios transparentes (Figura 6.1(a)) – são os que deixam passar a luz em trajetórias regulares e nos permitem observar perfeitamente os objetos através deles, como a água, o ar ou o vidro comum.

- Meios translúcidos (Figura 6.1(b)) – são os que deixam passar a luz em trajetórias irregulares que nos permitem observar somente o contorno dos objetos através de si, como o vidro esmerilhado ou o papel vegetal.

- Meios opacos (Figura 6.1(c)) – são aqueles que não permitem a passagem da luz. É o caso, entre outros, da madeira, do chumbo ou do ferro.

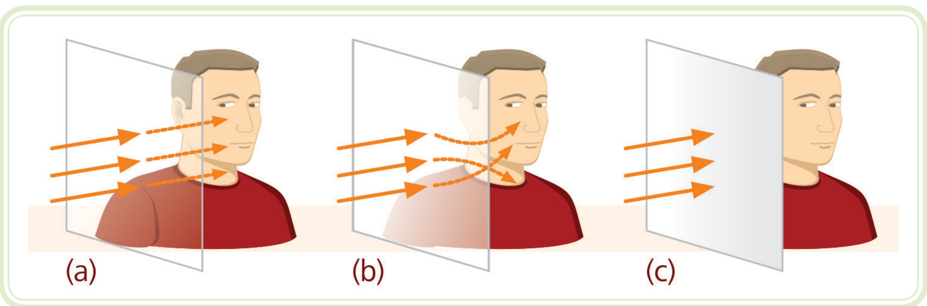

Figura 6.1: Classificação dos meios – transparente (a), translúcido (b) e opaco (c)
Fonte: CTISM

6.1.1 Raios de luz

Certos fenômenos luminosos podem ser estudados sem que se conheça previamente a natureza da luz; basta para tanto a noção de raio de luz. Assim para se representar graficamente a luz em propagação, como, por exemplo, a emitida pela chama de uma vela, utilizou-se a noção de raio de luz.

Raio de luz são linhas orientadas que representam, graficamente, a direção e o sentido da propagação da luz.

Um conjunto de raios de luz constitui um feixe de luz. Este pode ser convergente, divergente ou paralelo (Figura 6.2).

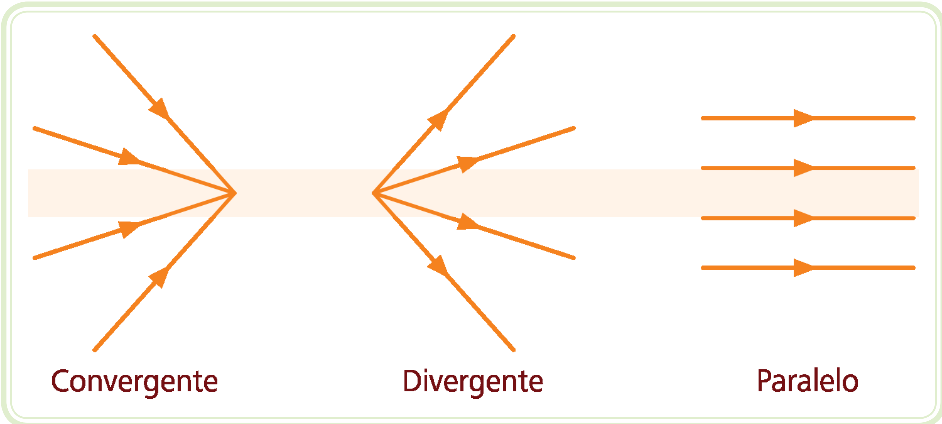

Figura 6.2: Configuração de um raio de luz
Fonte: CTISM

6.2 Fenômenos ópticos

Considere um feixe de raios paralelos propagando-se num meio (1) (por exemplo, ar) e incidindo sobre a superfície plana S de separação comum do meio (2) (por exemplo, água, papel, chapa metálica polida, etc.). Dependendo da natureza do meio (2) e da superfície S, ocorrem simultaneamente, com maior ou menor intensidade, os seguintes fenômenos:

- **Reflexão regular** – o feixe de raios paralelos que se propaga no meio (1) incide sobre a superfície S e retorna ao meio (1), mantendo o paralelismo (Figura 6.3). É o que acontece, por exemplo, sobre a superfície plana e polida de um metal.

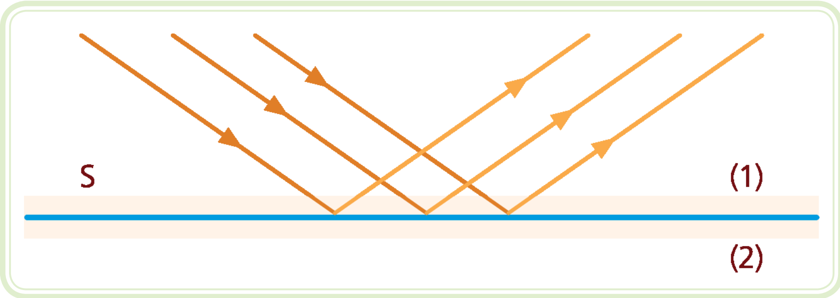

Figura 6.3: Reflexão regular de feixe de luz
Fonte: CTISM

- **Reflexão difusa** – o feixe de raios paralelos que se propaga no meio (1) incide sobre a superfície S e retorna ao meio (1), perdendo o paralelismo e espalhando-se em todas as direções (Figura 6.4). A difusão é devida as irregularidades da superfície. A reflexão difusa é responsável pela visão dos objetos que nos cercam. Por exemplo, a reflexão da luz em uma folha de papel é uma reflexão difusa. Apesar de parecer lisa, a superfície do papel apresenta uma textura muito fina, que reflete a luz de maneira difusa, em todas as direções.

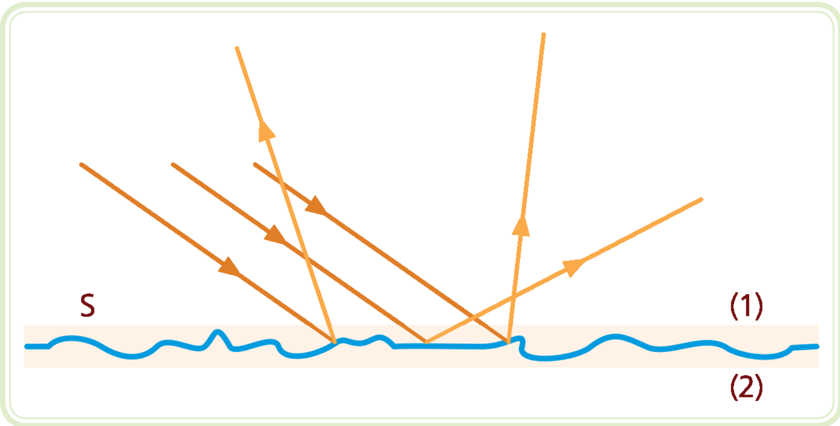

Figura 6.4: Reflexão difusa de um raio de luz
Fonte: CTISM

- **Refração da luz** – o feixe de raios paralelos que se propaga no meio (1) incide sobre a superfície S e passa a se propagar no meio (2) (Figura 6.5). É o que acontece, por exemplo, quando a luz se propaga no ar e incide sobre a superfície livre da água de uma piscina. A reflexão neste caso é regular, permitindo a uma pessoa no fundo da piscina ver o Sol. Se no meio (2) for translúcido, como o vidro fosco, os raios refratados perdem o paralelismo e a refração é difusa.

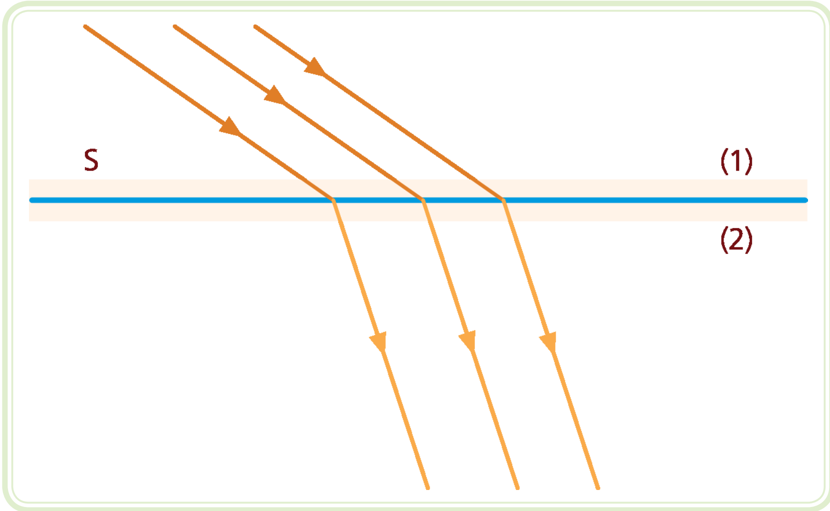

Figura 6.5: Refração da luz
Fonte: CTISM

- **Absorção da luz** – o feixe de raios paralelos que se propaga no meio (1) incide sobre a superfície S e não se propaga no meio (2); ocorre a absorção de luz (Figura 6.6). Como a luz é uma forma de energia, sua absorção ocasiona um aquecimento.

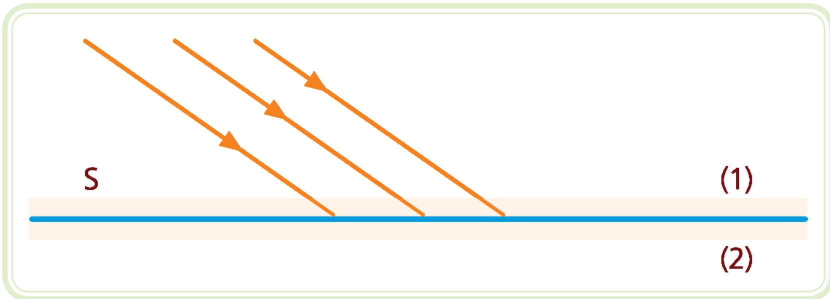

Figura 6.6: Absorção da luz
Fonte: CTISM

Na reflexão regular, na reflexão difusa e na refração, os feixes refletidos, difundidos ou refratados apresentam energia luminosa menor que a do feixe incidente que lhes deu origem, pois uma parte da energia é sempre absorvida. Num corpo negro, a absorção da luz é total. Num corpo cinza escuro há elevada taxa de absorção. Num corpo branco, a difusão predomina. Numa superfície metálica bem polida, predomina a reflexão regular, sendo mínima a difusão e praticamente inexistente a absorção. Na superfície de separação entre dois meios homogêneos e transparentes, para incidência pouco obliqua, predomina refração.

6.3 Reflexão da luz – leis da reflexão

Consideremos a reflexão de um raio de luz numa superfície S (Figura 6.7), sendo RI o raio incidente no ponto I da superfície S, o qual forma com a normal à superfície (N) o ângulo de incidência i. O raio refletido RR, que se individualizava após a reflexão, forma com a normal N o ângulo de reflexão r.

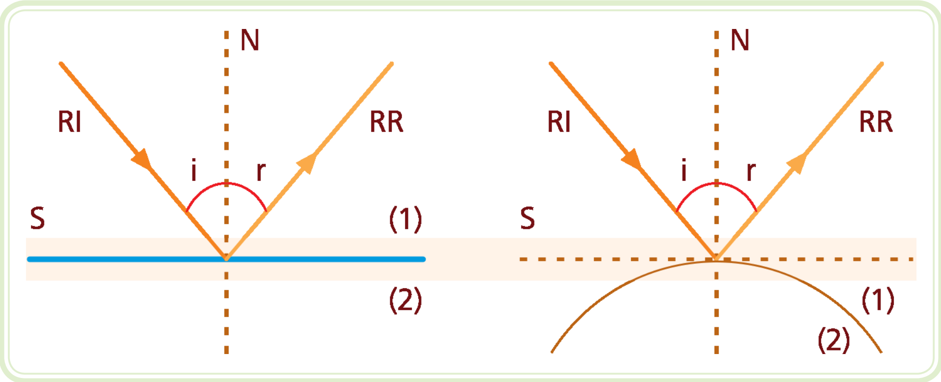

Figura 6.7: Lei da reflexão da luz
Fonte: CTISM

A reflexão da luz é regida pelas leis:

1ª lei – o raio refletido, anormal e o raio incidente estão situados no mesmo plano.

2ª lei – o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência r = i.

6.3.1 Princípio de Fermat

De acordo com o princípio de Fermat, para o fenômeno de reflexão, um raio de luz percorre o trajeto entre dois pontos A e B, Figura 6.8(a), levando sempre o menor tempo possível.

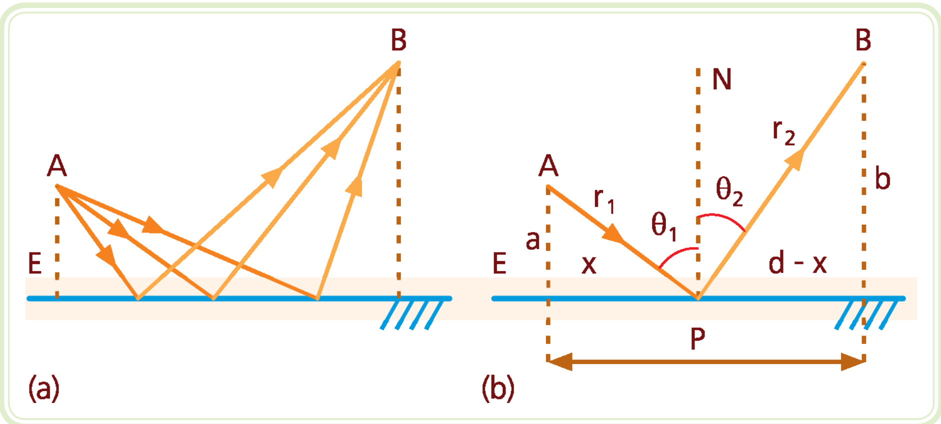

Figura 6.8: Reflexão da luz por um espelho
Fonte: CTISM

A Figura 6.8(b) e o teorema de Pitágoras mostram que o comprimento do trajeto de A até o ponto (P) de reflexão no espelho, é:

Equação 6.1

$$r_1 = \sqrt{a^2 + x^2}$$

E que o comprimento do trajeto até o ponto B é igual:

Equação 6.2

$$r_2 = \sqrt{b^2 + (d - x)^2}$$

O tempo de trânsito para ir de A até B é a soma dos tempos gastos pelos raios incidentes e refletidos.

Equação 6.3

$$t = t_{AP} + t_{PB} = \frac{r_1}{v} + \frac{r_2}{v} = \frac{r}{v}$$

De acordo com Fermat, na reflexão o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão ($\theta_1 = \theta_2$).

6.3.2 Formação de imagens

Considere um ponto P luminoso ou iluminado colocado em frente a um espelho plano E. Os raios de luz refletidos, pelo espelho e provenientes de P podem ser determinados através das leis da reflexão. Sejam, por exemplo, os seguintes raios incidentes (Figura 6.9).

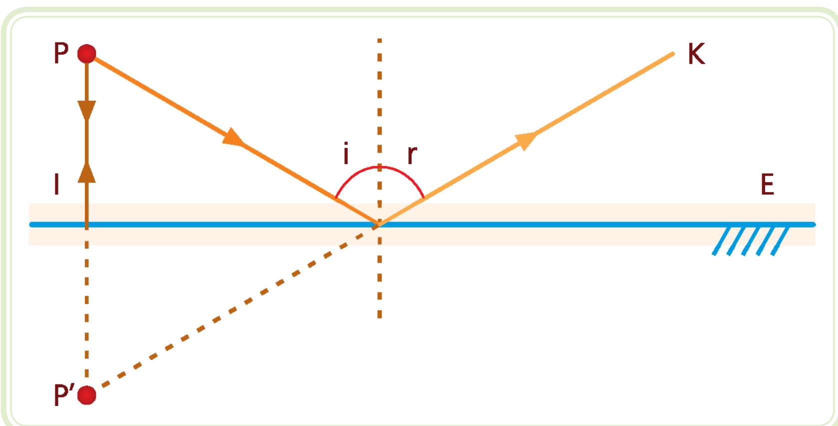

Figura 6.9: Ponto luminoso frente a um espelho
Fonte: CTISM

A interseção dos prolongamentos de raios refletidos IP e JK determina um ponto P´. Da igualdade entre os triângulos PIJ e P´IJ resulta: PI = P´I, isto é: P e P´ são equidistantes.

Por outro lado, sendo qualquer o raio incidente PJ, podemos concluir que os prolongamentos de todos os raios refletidos no espelho, provenientes de P, passam por P´ (Figura 6.10). O feixe refletido no espelho atinge o globo ocular de um observador (Figura 6.10). Para este, o feixe parece originar-se em P´. O observador vê P´.

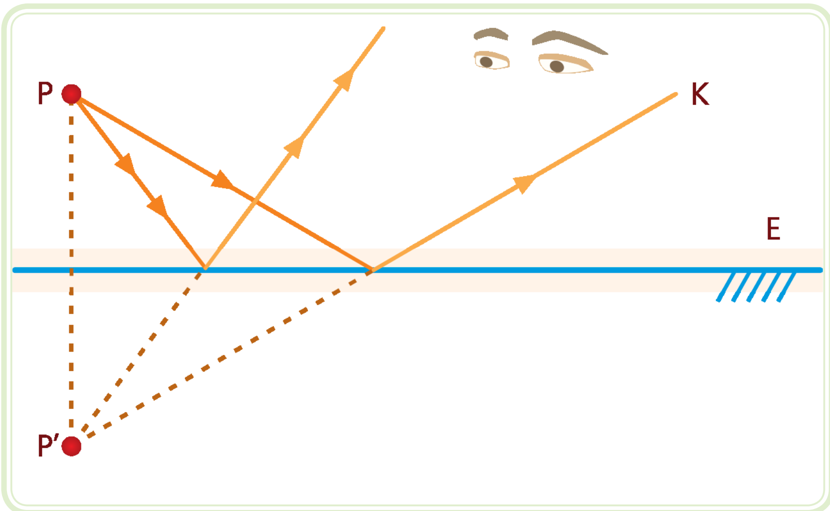

Figura 6.10: Campo de visão de um ponto em frente a um espelho
Fonte: CTISM

O ponto P´ definido pela interseção de raios emergentes do espelho é denominado ponto-imagem virtual, em relação ao espelho. O ponto P definido pela interseção de raios incidentes sobre o espelho é denominado ponto-objeto real, em relação ao espelho.

De modo geral – ponto real é a interseção efetiva de raios luminosos e o ponto virtual é interseção de prolongamentos de raios luminosos.

Um exemplo típico de reflexão são as fibras ópticas. A fibra possui no mínimo duas camadas: o núcleo (filamento de vidro) e o revestimento (material eletricamente isolante). No núcleo, ocorre a transmissão da luz propriamente dita por meio de reflexões sucessivas (Figura 6.11).

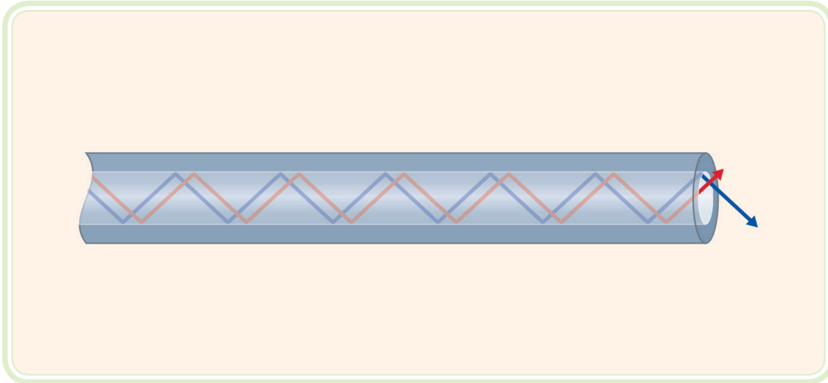

Figura 6.11: Fibra óptica
Fonte: CTISM

6.4 Refração luminosa

A refração da luz é o fenômeno que ocorre quando a luz muda seu meio de propagação (Figura 6.12). Para que a refração seja o fenômeno predominante, o meio 2 deve ser transparente, como por exemplo, a água.

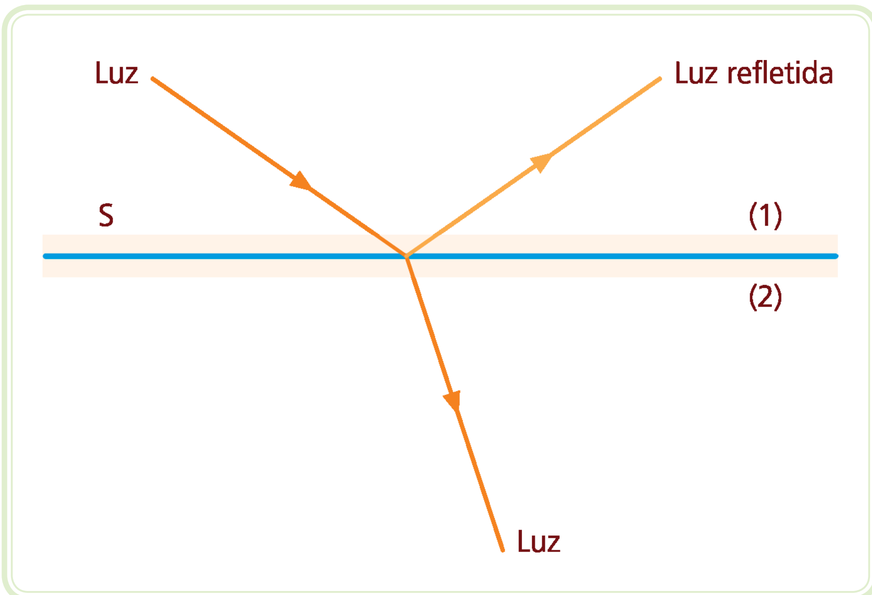

Figura 6.12: Refração × reflexão da luz
Fonte: CTISM

Se a incidência for oblíqua, a refração é acompanhada de mudança de direção (Figura 6.13(a)), o que não ocorre se a incidência for perpendicular (Figura 6.13(b)).

Observe na Figura 6.13 que, ao passar do ar para a água, o raio luminoso aproximou-se da normal, passando a formar com ela um ângulo menor que aquele que formava no ar. Como na água a velocidade da luz é menor do que no ar, verifica-se que, na refração com incidência oblíqua, o ângulo formado com a normal acompanha a variação de velocidade.

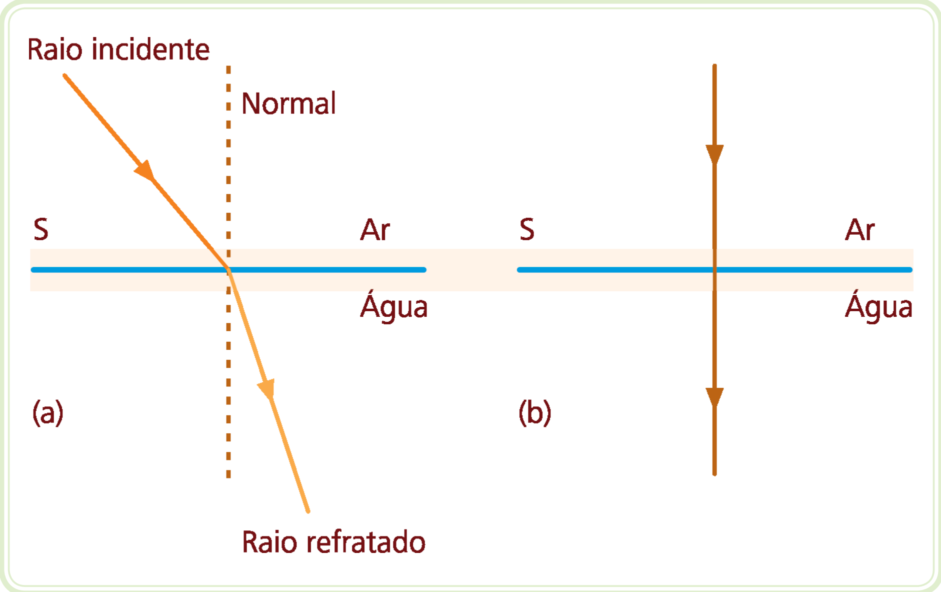

Figura 6.13: Refração da luz na água
Fonte: CTISM

Assim, a refração da luz pode ser entendida como a variação de velocidade sofrida pela luz ao mudar de meio.

6.4.1 Índice de refração, refringência

Opticamente, um meio transparente e homogêneo é caracterizado pelo seu índice de refração absoluto. O índice de refração absoluto n de um meio, para determinada luz monocromática, é a relação entre a velocidade da luz no vácuo (c) e a velocidade da luz considerada no meio em questão (v), ou seja:

Equação 6.4

$$n = \frac{c}{v}$$

O índice de refração n é adimensional e maior que a unidade, para qualquer meio material: $c > v \rightarrow n > 1$.

Note que o índice de refração corresponde a uma comparação entre a velocidade da luz no meio v, e a velocidade da luz no vácuo, c. Assim, n indica quantas vezes a velocidade da luz no vácuo é maior que a velocidade no meio considerado. Para o vácuo e aproximadamente para o ar, o índice de refração é unitário: $c = v \rightarrow n = 1$.

O índice de refração de um meio material depende do tipo de luz que se propaga, apresentando valor máximo para a luz violeta e mínimo para a luz vermelha. Para indicar entre dois meios aquele que tem maior ou menor índice de refração, é comum usarmos o termo refringência. Assim, o meio que possui maior índice de refração é o que apresenta maior refringência (mais refringente).

Quando dois meios apresentam a mesma refringência (mesmo índice de refração), um é invisível em relação ao outro. Diz-se que entre esses meios há continuidade óptica.

Quadro 6.1: Índices de refração de algumas substâncias; referentes ao comprimento de onda da luz amarela do sódio (Na) (λ = 589 nm)

Meio	Índice de refração	Meio	Índice de refração
Vácuo	1,000 (exato)	Vidro ou cristal denso	1,660
Água (20°C)	1,333	Perspex	1,495
Gelo	1,309	Quartzo	1,544
Álcool metílico (CH_3OH)	1,329	Poliestireno	1,550
Acetona	1,357	Nujol (óleo laxante)	1,477
Hexano	1,427	Fluorita (CaF_2)	1,434
Tetracloreto de carbono	1,466	Safira	1,770
Benzeno	1,500	Diamante (C)	2,417
Cloreto de sódio (NaCl)	1,544	Silício (Si)	3,400
Vidro crown	1,520	Germânio	5,000

Fonte: Courrol; Preto, 2013

6.4.2 Principio de Fermat

Para deduzir a lei da refração, usando o princípio de Fermat, utilizaremos a Figura 6.13, como plano contendo a trajetória da luz perpendicular ao plano que separa as regiões de índices de refração n_1 e n_2. A luz propaga-se do ponto A na primeira região para um ponto a uma distância desconhecida x da base da perpendicular ao plano de separação entre os dos meios materiais. O comprimento da perpendicular é a. A luz continua o seu caminho na segunda região até B, que está a um ponto B, situado a uma distância b do plano de separação.

De forma similar ao caso da reflexão, existem várias trajetórias possíveis para o raio de luz ser refratado ao percorrer por dois meios materiais distintos, como mostra a Figura 6.14.

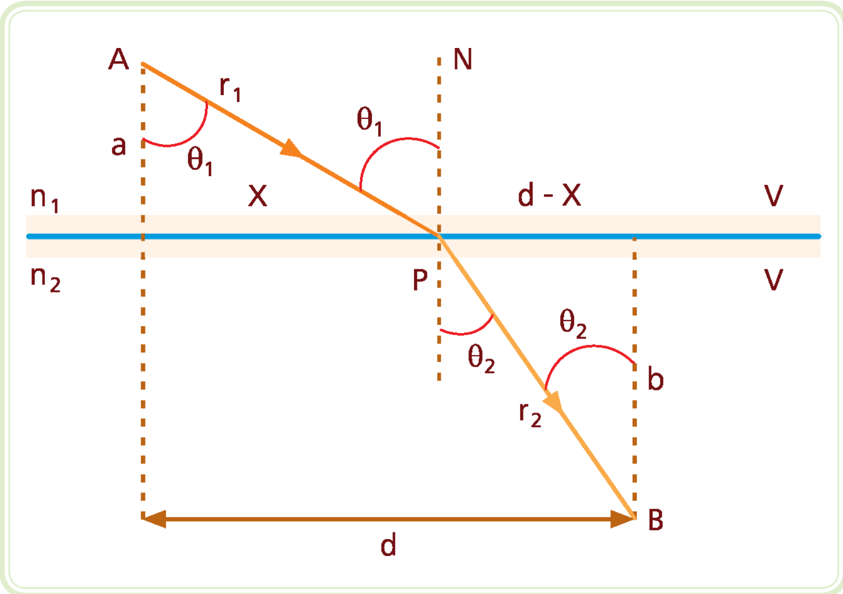

Figura 6.14: Refração da luz ao atravessar dois meios materiais transparentes e distintos
Fonte: CTISM

O tempo para percorrer do ponto A até B é igual a soma dos tempos para percorrer de A até a superfície P e de P a B. Como os meios têm índice de refração distintos, a luz terá consequentemente velocidades diferentes. Seja estas velocidades no meio 1 e 2, iguais a v_1 e v_2 respectivamente. Assim:

Equação 6.5

$$t = t_{AP} + t_{PB} = \frac{r_1}{v_1} + \frac{r_2}{v_2}$$

Usando a definição de índice de refração para um meio material em relação ao vácuo temos que:

Equação 6.6

$$t = \frac{r_1}{v_1} + \frac{r_2}{v_2} = \frac{n_1 \times r_1}{c} + \frac{n_2 \times r_2}{c} = \frac{1}{c} \times (n_1 \times r_1 + n_2 \times r_2)$$

Onde, por considerações geométricas tem-se que:

Equação 6.7

$$r_1 = \sqrt{a^2 + x^2} \quad \text{e} \quad r_2 = \sqrt{b^2 + (d - s)^2}$$

De acordo como princípio de Fermat a trajetória real a ser percorrida pelo raio de luz será aquela que satisfaz a relação $dt \div dx = 0$. Isto significa que:

Equação 6.8

$$n_1 \times \text{sen}\theta_1 = n_2 \times \text{sen}\theta_2$$

6.5 Lâmina de faces paralelas

A lâmina de faces paralelas é constituída de dois dioptros planos paralelos e é usada para deslocar o raio de luz de uma posição para uma nova posição sofrendo um desvio lateral d, sem mudar a direção do raio de luz (Figura 6.15).

Vamos ver como fica a trajetória de um raio de luz ao atravessar uma lâmina de faces paralelas (Figura 6.15). Nesse caso a lâmina é uma placa de vidro imersa no ar, constituindo os dioptros ar/vidro e vidro/ar.

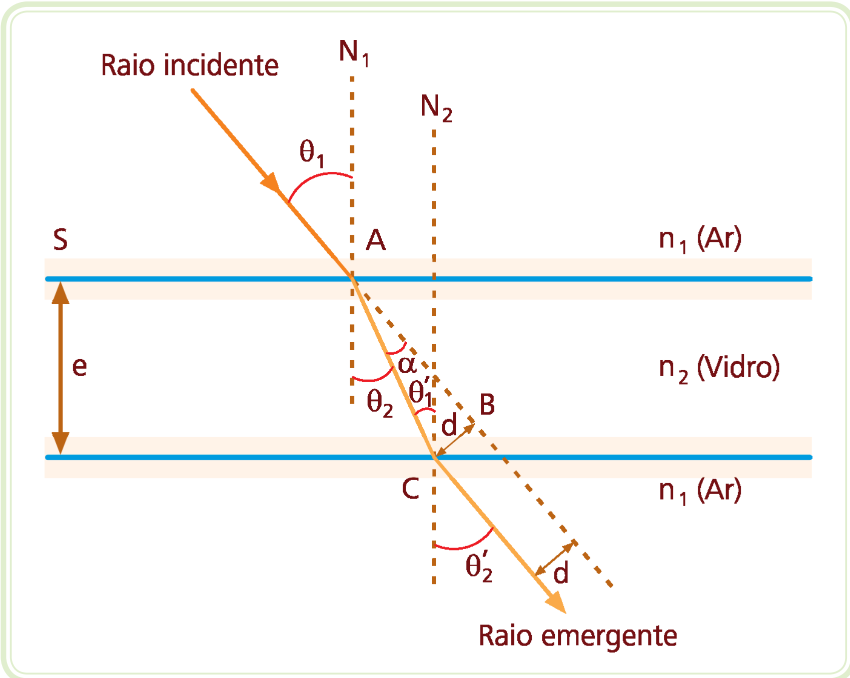

Figura 6.15: Trajetória de um raio atravessando uma lâmina de faces paralelas
Fonte: CTISM

Vamos demonstrar que o raio emergente é paralelo ao raio incidente em uma lâmina de faces paralelas, ou seja, $\theta_1 = \theta_2'$.

Aplicando a Lei de Snell Descartes para o dioptro ar/vidro e vidro/ar, temos, respectivamente:

Equação 6.9

$$\frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{e} \quad \frac{\text{sen}\theta_1'}{\text{sen}\theta_2'} = \frac{n_1}{n_2} \rightarrow \frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} = \frac{\text{sen}\theta_1'}{\text{sen}\theta_2'}$$

Como $\theta_2 = \theta_1'$ (ângulos alternos e internos não adjacentes), para o primeiro quadrante, tem-se $\text{sen}\theta_1 = \text{sen}\theta_2'$ e assim $\text{sen}\theta_2 = \text{sen}\theta_1'$. Para o primeiro quadrante, $\theta_1 = \theta_2'$.

Conclusão
O ângulo (θ_1) que é o raio que incide no primeiro dioptro é igual ao ângulo (θ_2') que é o raio que emerge no segundo dioptro, ou seja o raio emergente é paralelo ao raio incidente quando os meios de incidência e de emergência são iguais.

Para calcularmos o desvio do feixe emergente em relação ao feixe incidente, iremos analisar separadamente o triângulo ABC.

Observando a Figura 6.15, por considerações geométricas tiramos que:

Equação 6.10

$$\cos\theta_1' = \frac{e}{AC} \rightarrow AC = \frac{e}{\cos\theta_2} \quad \text{e} \quad \text{sen}\alpha = \frac{d}{AC} \rightarrow AC = \frac{d}{\text{sen}\alpha}$$

Então:

Equação 6.11

$$d = \frac{e \times \text{sen}\alpha}{\cos\theta_2}$$

Por considerações geométricas, tem-se:

Equação 6.12

$$\theta_1 = \alpha + \theta_2 \quad \rightarrow \quad d = \frac{e \times \text{sen}(\theta_1 - \theta_2)}{\cos\theta_2}$$

6.6 Espelhos esféricos

Os elementos de um espelho esférico (Figura 6.16) são:

- C = centro de curvatura (centro da esfera que originou o espelho).
- V = vértice do espelho (polo da calota).
- Eixo principal do espelho = reta que passa por CV.
- R = raio de curvatura do espelho (raio da esfera que originou o espelho).

- F = foco do espelho.

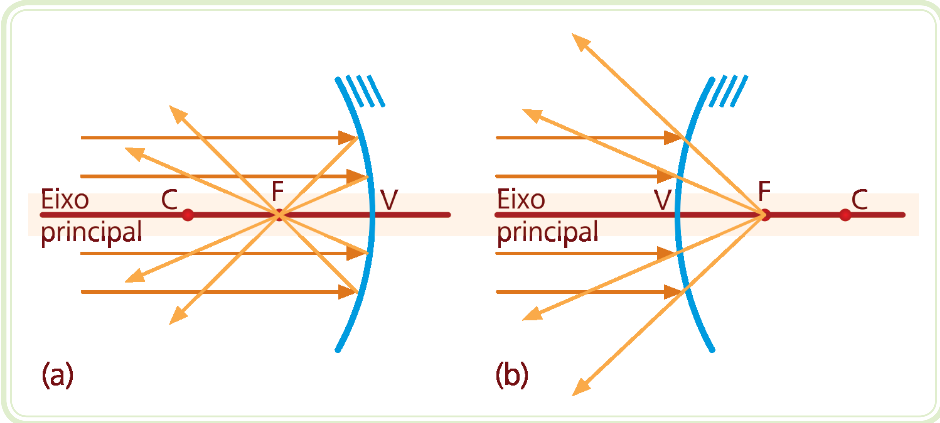

Figura 6.16: Espelhos esféricos
Fonte: CTISM

Para determinarmos a localização do foco do espelho basta considerarmos raios que incidam no espelho, provenientes de um objeto situado no infinito. Estes raios são paralelos e, quando refletem (lei da reflexão), passam pelo foco. Observe que o foco para espelho esférico convexo (Figura 6.16(b)) é obtido na interseção dos prolongamentos dos raios refletidos com o eixo principal.

Fisicamente, o foco seria onde estaria localizada a imagem de um objeto situado no infinito. Geometricamente, podemos verificar que a distância focal é igual à metade do raio de curvatura: f = R ÷ 2.

6.6.1 Construção de imagens em espelhos esféricos

São utilizados quatro raios básicos para a construção de imagens (Figura 6.17):

1. Raio que incide paralelo ao eixo principal, reflete passando pelo foco.

2. Raio que incide passando pelo foco, reflete paralelo ao eixo principal.

3. Raio que incide passando pelo centro de curvatura, reflete sobre si mesmo.

4. Raio que incide sobre o vértice formando um ângulo (θ) reflete com o mesmo ângulo (θ).

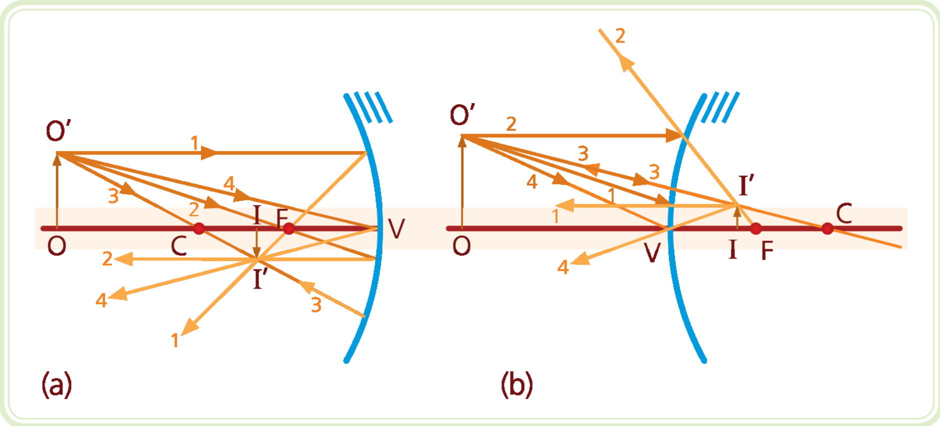

Figura 6.17: Imagens em espelhos esféricos
Fonte: CTISM

Vamos construir a imagem fornecida por um espelho côncavo, colocando o objeto em diversas posições: (Figura 6.18 a Figura 6.21)

a) Objeto sobre o centro de curvatura (C)

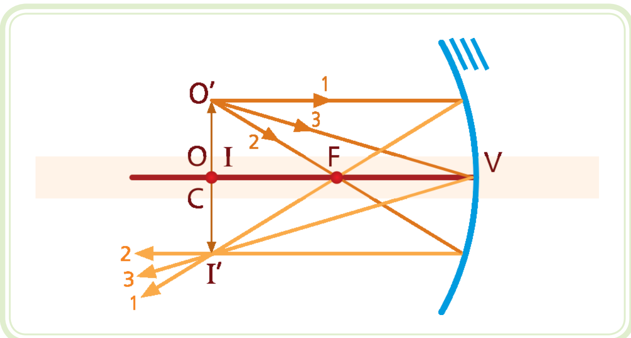

Figura 6.18: Objeto sobre centro de curvatura do espelho esférico
Fonte: CTISM

As características desta imagem são – natureza real; orientação invertida; tamanho igual ao objeto; posição sobre o centro de curvatura.

b) Objeto entre o centro de curvatura (C) e o foco (F)

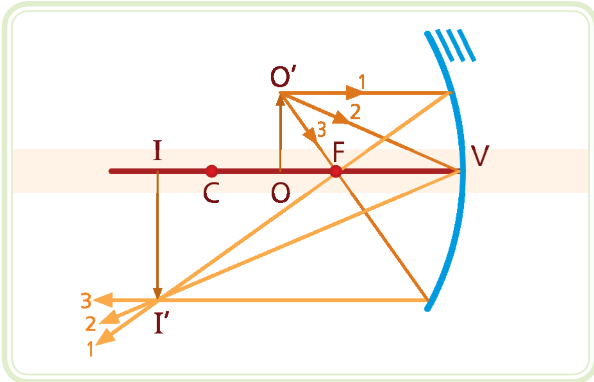

Figura 6.19: Objeto entre centro de curvatura e foco do espelho esférico
Fonte: CTISM

As características desta imagem são – natureza real; orientação invertida; tamanho maior que o objeto; posição antes do centro de curvatura.

c) Objeto sobre o foco (F)

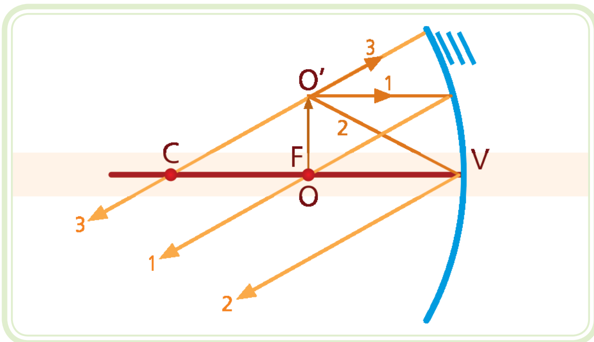

Figura 6.20: Objeto sobre o foco do espelho esférico
Fonte: CTISM

As características desta imagem são – natureza imprópria e posição no infinito.

d) Objeto entre o foco (F) e o vértice (V)

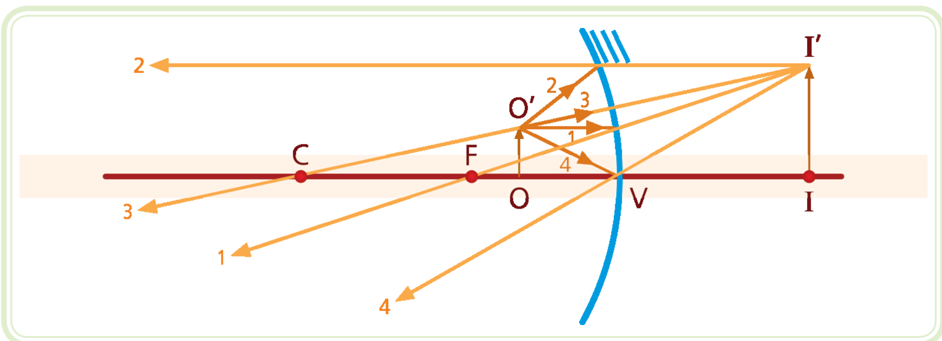

Figura 6.21: Objeto entre o foco e o vértice do espelho esférico
Fonte: CTISM

As características desta imagem são – natureza virtual; orientação: direita do espelho; tamanho maior que o objeto; posição depois do vértice.

6.7 Lentes

As lentes estão presentes no nosso dia a dia: lentes nos óculos, na máquina fotográfica, na luneta, no telescópio, no microscópio e em outros instrumentos óticos. O que é uma lente esférica? É um sistema constituído de dois dioptros esféricos ou um dioptro esférico e um plano, nos quais a luz sofre duas refrações consecutivas.

As lentes são denominadas em côncavas ou convexas, conforme se apresentam para o observador. A denominação de uma lente é realizada indicando, em primeiro lugar, a natureza da face menos curva, ou seja, aquela que se apresenta com maior raio de curvatura. Por exemplo, na lente côncava - convexa, a face côncava apresenta maior raio de curvatura. A Figura 6.22 mostra seis tipos de lentes.

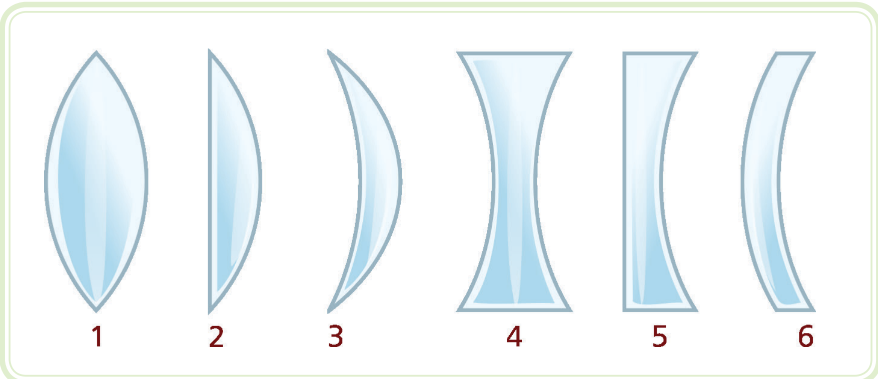

Figura 6.22: Tipos de lentes
Fonte: CTISM

As lentes podem ser convergentes ou divergentes, quanto ao comportamento ótico.

a) Lente convergente/focos

Quando um feixe de raios paralelos ao eixo principal incide sobre uma lente convergente, emerge convergindo os raios de luz para um ponto denominado foco imagem F' (Figura 6.23(a)).

A distância do foco F' à lente é a distância focal imagem f'. Fisicamente o foco imagem F' significa o ponto onde está localizada a imagem de um objeto situado no infinito. Como a lente é constituída de dois dioptros, há um segundo foco que é denominado foco objeto F (Figura 6.23(b)).

A distância do foco objeto F à lente é a distância focal objeto f. Esta distância f é simétrica à distância focal f'. Fisicamente o foco objeto F significa o ponto onde está localizado o objeto de uma imagem no infinito. Como os focos são reais, as distâncias focais objeto f e imagem f' serão consideradas positivas para lentes convergentes. São lentes convergentes, as lentes biconvexa, plano – convexa e côncavo – convexa (lentes 1, 2 e 3 da Figura 6.22).

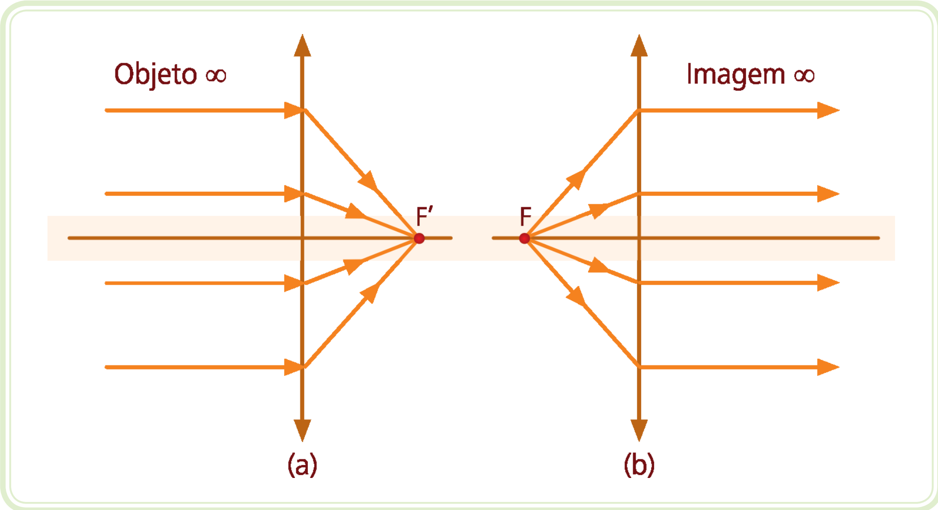

Figura 6.23: Lentes convergentes
Fonte: CTISM

b) Lente divergente/focos

Quando um feixe de raios de luz, paralelo ao eixo principal, incide em uma lente divergente, ele emerge divergindo os raios de luz. Prolongando os raios divergentes, estes se interceptam no ponto F' denominado foco imagem da lente (Figura 6.24(a)). O foco objeto F da lente divergente é obtido pelo prolongamento dos raios incidentes (Figura 6.24(b)). O significado físico desses focos são os mesmos para lentes convergentes.

São lentes divergentes: as lentes bicôncava, plano – côncava e convexo – côncava (lentes 4, 5 e 6 da Figura 6.22). Na prática, reconhecemos se uma lente é divergente ou convergente do seguinte modo: quando o bordo da lente tem menor espessura que a região central da lente é uma lente convergente; quando o bordo da lente tem maior espessura que a região central, é uma lente divergente.

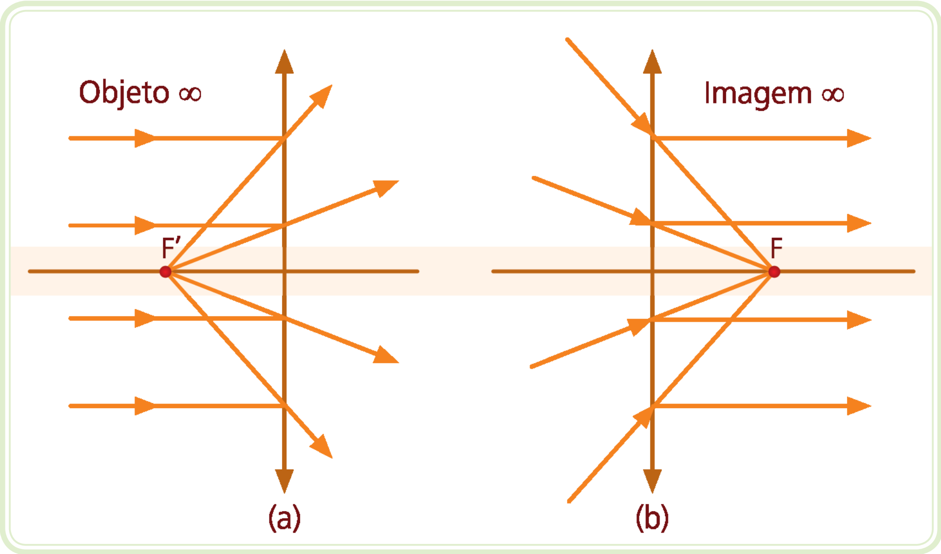

Figura 6.24: Lente divergente
Fonte: CTISM

Observação
Quando a lente é imersa em um meio mais refringente, ou seja, quando a lente é imersa num meio onde o índice de refração é maior, a lente divergente se torna convergente e vice-versa.

6.7.1 Elementos de uma lente esférica

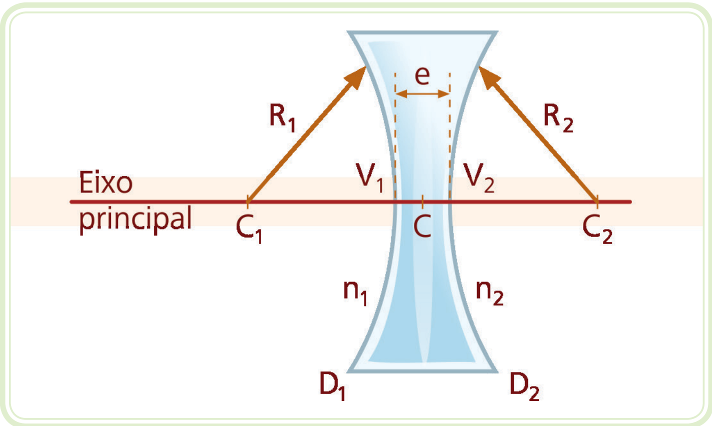

Figura 6.25: Lente esférica
Fonte: CTISM

De acordo com a Figura 6.25 temos:

D_1 – dioptro de incidência

D_2 – dioptro de emergência

C_1 e C_2 – centros de curvatura das faces

R_1 e R_2 – raios de curvatura das faces

V_1 e V_2 – vértices das faces

e – espessura da lente que é igual à distância entre V_1 e V_2

C – centro ótico da lente

Eixo principal – reta que passa pelos centros de curvatura C_1 e C_2

6.7.2 Vergência de uma lente

Se você observar uma receita de óculos, você lerá as medidas, por exemplo, +5di ou –5di e assim por diante. Estas medidas indicam as vergências das lentes. A vergência V de uma lente é uma grandeza que corresponde ao inverso da distância focal da lente: $V = 1 \div f$.

A unidade de medida usual é a dioptria (di) que corresponde ao inverso do metro (m^{-1}). Quando a lente é divergente, a distância focal é negativa, portanto, a vergência também será negativa. Quando a lente for convergente, a vergência será positiva. Uma vergência de +5 di significa que a lente a ser usada é uma lente convergente com uma distância focal 0,2 m ou 20 cm. Uma vergência de –5 di significa que a lente a ser usada é uma lente divergente com uma distância focal de 0,2 m ou 20 cm.

6.7.3 Refração em uma superfície esférica

Consideremos dois meios transparentes, com os índices de refração n_1 e n_2, sendo a fronteira entre os dois meios uma superfície esférica de raio R (Figura 6.26). Vamos admitir que o objeto seja o ponto O no meio do índice de refração n_1. Além disso, vamos considerar raios paraxiais que partem de O fazendo pequenos ângulos com o eixo e também uns com os outros. Conforme veremos, todos estes raios, que se originam no ponto objeto, serão refratados na superfície esférica e localizados num único ponto I, o ponto imagem.

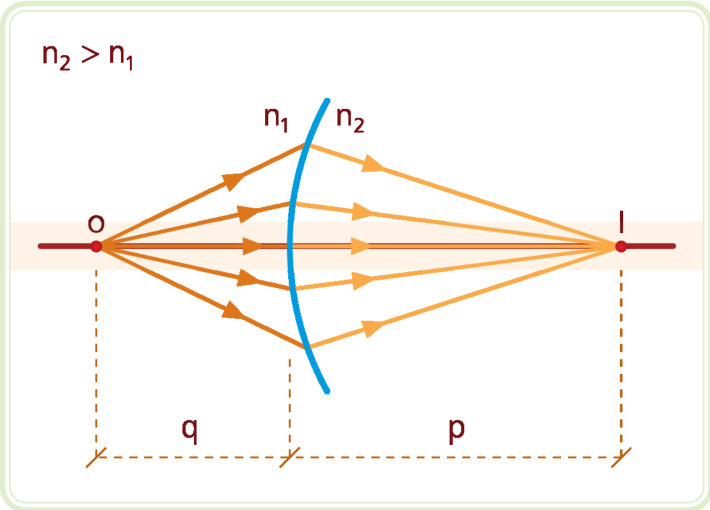

Figura 6.26: Refração superfície esférica
Fonte: CTISM

Vamos analisar a construção geométrica da Figura 6.27, que mostra um único raio partindo do ponto O e passando no ponto I.

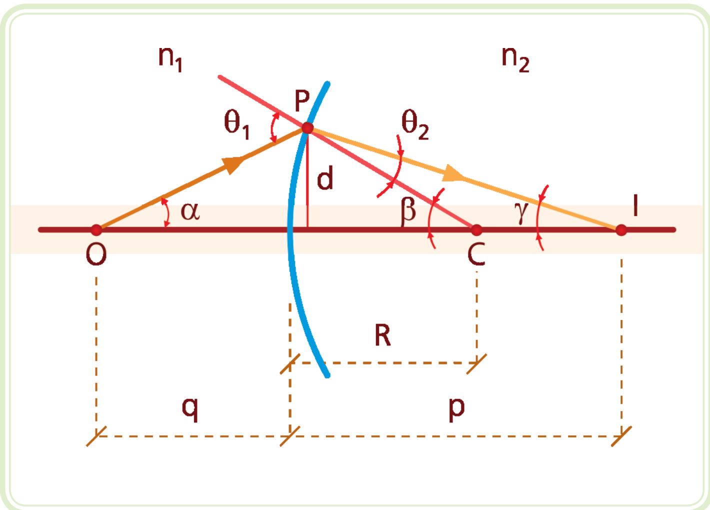

Figura 6.27: Construção geométrica da Figura 6.26
Fonte: CTISM

A Lei de Snell para este raio refratado é:

Equação 6.13

$$n_1 \times \text{sen}\theta_1 = n_2 \times \text{sen}\theta_2$$

Uma vez que, por hipótese, os ângulos θ_1 e θ_2 são pequenos, podemos usar as aproximações $\text{sen}\theta_1 \approx \theta_1$ e $\text{sen}\theta_2 \approx \theta_2$ (com os ângulos em radianos). Então a lei de Snell resulta: $n_1 \times \theta_1 = n_2 \times \theta_2$.

Agora usamos o teorema "o angulo externo de um triângulo qualquer é igual a soma dos ângulos internos não adjacentes ao a lado oposto". Assim nos triângulos OPC e PIC, na Figura 6.27, temos:

Equação 6.14

$$\theta_1 = \alpha + \beta \qquad \text{e} \qquad \beta = \theta_2 + \gamma$$

Se combinarmos as três últimas igualdades e eliminarmos θ_1 e θ_2, encontramos:

Equação 6.15

$$n_1 \times \alpha + n_2 \times \gamma = (n_2 - n_1) \times \beta$$

Ainda, com a aproximação dos pequenos ângulos, podemos escrever as relações aproximadas:

Equação 6.16

$$\alpha = \frac{d}{p} \qquad \beta = \frac{d}{R} \qquad \beta = \frac{d}{q}$$

Onde d é a distância assinalada na Figura 6.27.

6.7.4 Construção de imagens em lentes esféricas

São utilizados três raios para a construção de imagens:

- Raio 1 – raio que incide paralelo ao eixo principal refrata passando pelo foco imagem F'.

- Raio 2 – raio que incide passando pelo centro ótico da lente C, não sofre desvio.

- Raio 3 – raio que incide passando pelo foco objeto F, refrata paralelo ao eixo principal.

A situação apresentada na Figura 6.28 para uma lente convergente é o esquema de um projetor de filmes ou *slides*.

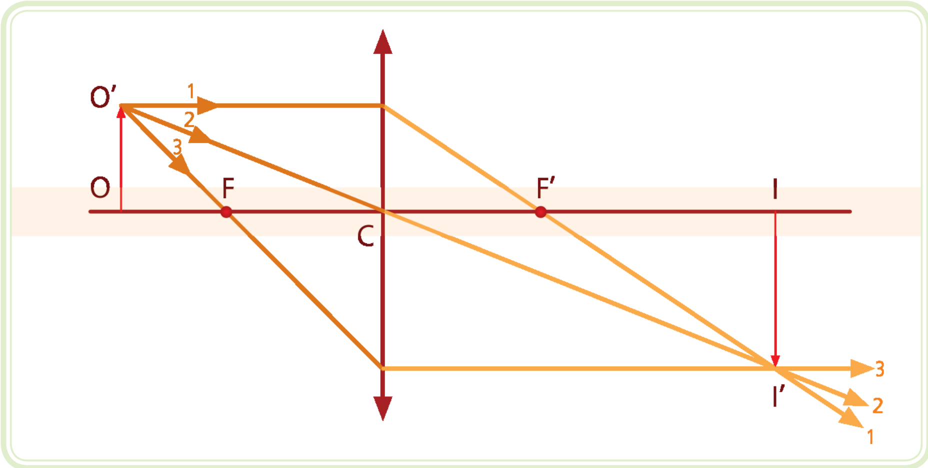

Figura 6.28: Raios para construção de imagens de lente esférica convergente
Fonte: CTISM

As características desta imagem construída são – natureza real, orientação invertida e de tamanho maior do que o objeto.

Para uma lente divergente (Figura 6.29) a imagem é formada no prolongamento dos raios refratados. As características das imagens obtidas de uma lente divergente para qualquer posição de um objeto real são sempre as mesmas, ou seja, virtual, menor que o do objeto e direita.

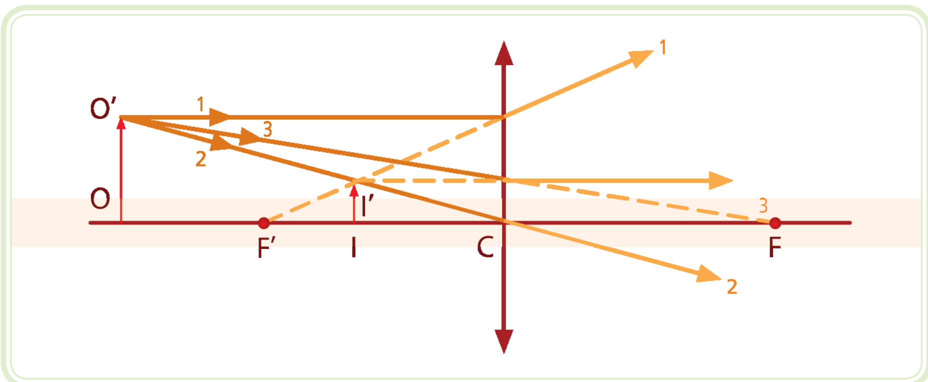

Figura 6.29: Imagem formada por objeto em posição qualquer em lente esférica divergente
Fonte: CTISM

As características desta imagem construída são – natureza virtual, orientação invertida e de tamanho menor do que o objeto.

Vamos construir as imagens obtidas de uma lente convergente para outras posições do objeto. (Figura 6.30 a Figura 6.32)

a) Objeto situado entre o foco e o vértice

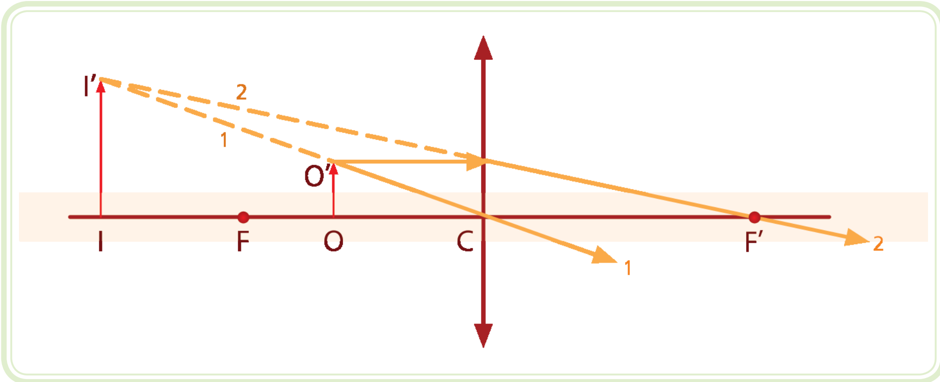

Figura 6.30: Imagem formada por objeto entre foco e vértice em lente esférica convergente
Fonte: CTISM

As características desta imagem construída são – natureza virtual, orientação direita e de tamanho menor do que o objeto.

Nessa situação, a lente convergente está funcionado como uma lente de aumento, ou seja, uma lupa.

b) Objeto sobre a dupla distância focal

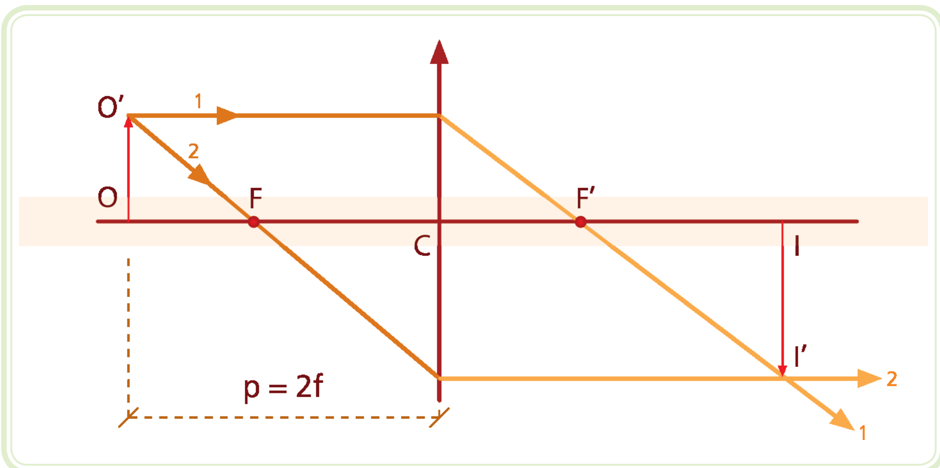

Figura 6.31: Imagem formada por objeto sobre dupla distância focal em lente esférica convergente
Fonte: CTISM

As características desta imagem construída são – natureza real, orientação invertida e de tamanho igual ao objeto.

A situação da Figura 6.31 representa o esquema de uma máquina copiadora (xerográfica) sem ampliação.

c) Objeto situado além da dupla distância focal

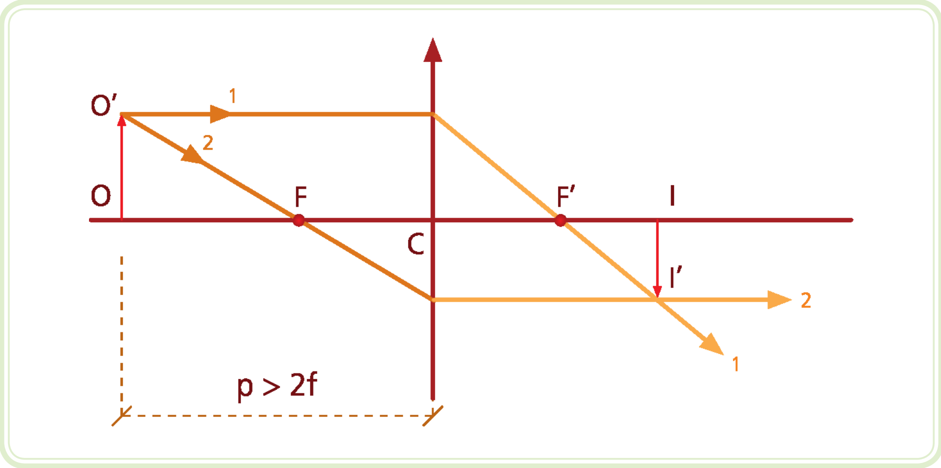

Figura 6.32: Imagem formada por objeto além da dupla distância focal em lente esférica convergente
Fonte: CTISM

As características desta imagem construída são – natureza real, orientação invertida e de tamanho menor do que o objeto.

A situação apresentada na Figura 6.32 é o esquema da formação de uma imagem em uma máquina fotográfica.

Resumo

Um meio óptico, conforme permita a propagação da luz com maior ou menor facilidade, é classificado por meio transparente, meio translúcido ou meio opaco. Os princípios da óptica geométrica nestes meios são: de propagação retilínea da luz; da reversibilidade e da independência dos raios luminosos.

A luz pode sofrer dois fenômenos: reflexão e refração. A reflexão é o fenômeno no qual a luz, ao incidir numa superfície, retorna ao meio em que estava se propagando e é regida pelas leis: 1ª lei: o raio refletido, a normal e o raio incidente estão situados no mesmo plano. 2ª lei: o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência $\theta_1 = \theta_2$. No fenômeno da refração, a luz muda sua velocidade de propagação e o ângulo do raio refratado, obedecendo a lei de Snell-Descartes: $n_1 \times \text{sen}\theta_1 = n_2 \times \text{sen}\theta_2$.

Atividades de aprendizagem

1. Um raio de luz monocromática propaga-se no ar (meio 1) e atinge a superfície plana da água (meio 2) sob angulo de incidência θ_1 igual a 45°. Admitindo que o índice de refração da água vale 2 para a citada luz, pedem-se:

a) O ângulo de refração.

b) O desvio experimentado pelo raio, ao se refratar.

c) Uma figura em que compareçam o raio incidente, o raio refletido e o raio refratado.

2. Um raio de luz de frequência igual a $6{,}0 \times 10^{14}$ Hz passa do vácuo para um meio material transparente, como ilustra a Figura 6.33. Sabendo-se que sen $(\theta_1) = 0{,}8$ e sen $(\theta_2) = 0{,}6$ e que a velocidade da luz no vácuo é $v_1 = 300000$ km/s, determinar:

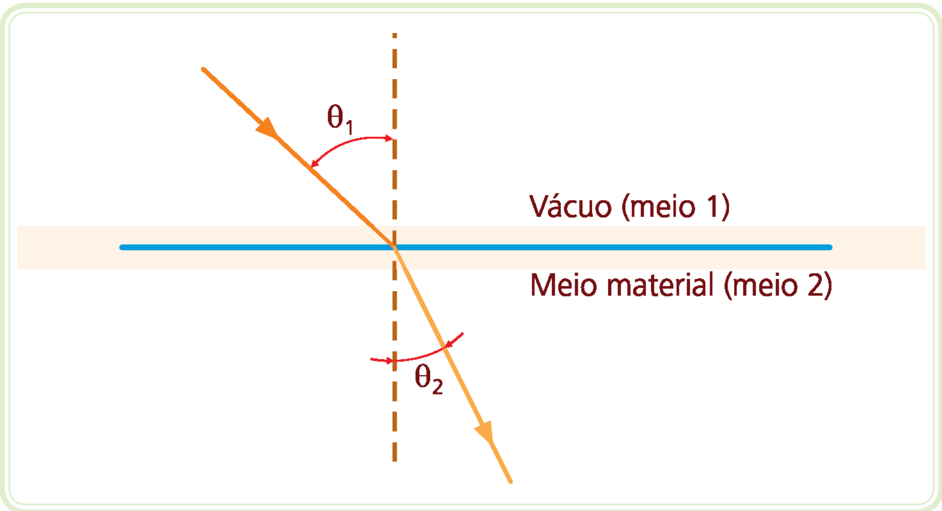

Figura 6.33: Ilustração do exercício de aprendizagem 2
Fonte: CTISM

a) A velocidade da luz no meio material (v_2).

b) O índice de refração absoluto no meio material.

c) O comprimento de onda dessa luz no vácuo (λ_1) e no meio material (λ_2).

3. Um feixe de luz se desloca no quartzo com velocidade $1,94 \times 10^8$ m/s . O comprimento de onda da luz no quartzo é igual a 355 nm.

a) Qual o índice de refração do quartzo para esse comprimento de onda?

b) Se essa mesma luz se propagasse no ar, qual seria seu comprimento de onda?

4. Formação da imagem usando um espelho côncavo. O filamento de uma lâmpada de lanterna está a uma distância de 10,0 cm em frente a um espelho côncavo que forma uma imagem sobre uma parede situada a uma distância de 3,0 m do espelho.

a) Qual é o raio de curvatura e a distância focal do espelho?

b) Qual é a altura da imagem sabendo que a altura do objeto é de 5,00 mm?

5. Formação da imagem usando uma lente divergente. Você dispõe de uma lente delgada divergente e verifica que os raios paralelos incidentes são espalhados depois de passar pela lente, dando a impressão de que emanam de um ponto situado a uma distância de 20,00 cm do centro da lente. Você deseja usar essa lente para formar uma imagem virtual ereta com altura igual a 1/3 da altura do objeto.

a) Onde o objeto deve ser colocado?

b) Faça um diagrama dos raios principais.

Aula 7 – Eletricidade

Objetivos

Conhecer os fundamentos da corrente e da tensão elétrica e a relação com os outros assuntos desta disciplina.

Relacionar os conceitos de resistência elétrica com os conceitos de tensão e resistência elétrica e a aplicação em eletricidade.

7.1 Princípio da eletricidade

Os antigos gregos já haviam observado a existência de interações ao atritarem o âmbar com outros corpos. Ocorre que, em grego, a expressão âmbar significa *elektron*, então as forças elétricas receberam esta denominação. Todavia, estas forças de atração e de repulsão são de natureza diferente das forças gravitacionais, que são sempre atrativas, que estamos acostumados a presenciar na vida diária.

Diversas teorias foram propostas para justificar tais fenômenos elétricos. Atualmente, eles são explicados da seguinte maneira: todos os corpos são formados de átomos, os quais são constituídos de partículas elementares, sendo as principais: elétrons, prótons e nêutrons. Os prótons e os nêutrons acham-se localizados na parte central do átomo, chamada núcleo. Ao redor do núcleo movem-se os elétrons, em uma região chamada coroa ou "eletrosfera".

Os prótons se repelem entre si, o mesmo acontecendo com os elétrons. Entre um próton e um elétron há atração. Esses comportamentos são idênticos aos observados entre um bastão de vidro e um pedaço de pano de lã. Para explicá-los, associa-se aos prótons e aos elétrons uma propriedade física denominada carga elétrica, sendo que prótons e elétrons apresentam efeitos elétricos opostos. Por este motivo, há duas classes de cargas elétricas: positiva (a carga elétrica do próton) e negativa (a carga elétrica do elétron). Os nêutrons não têm carga elétrica porque não apresentam efeitos elétricos. Observe estes detalhes no Quadro 7.1 e Figura 7.1.

Quadro 7.1: Partículas × carga elétrica	
Partícula	**Carga elétrica**
Prótons	(+)
Elétrons	(–)
Nêutrons	Não tem carga elétrica

Fonte: Autor

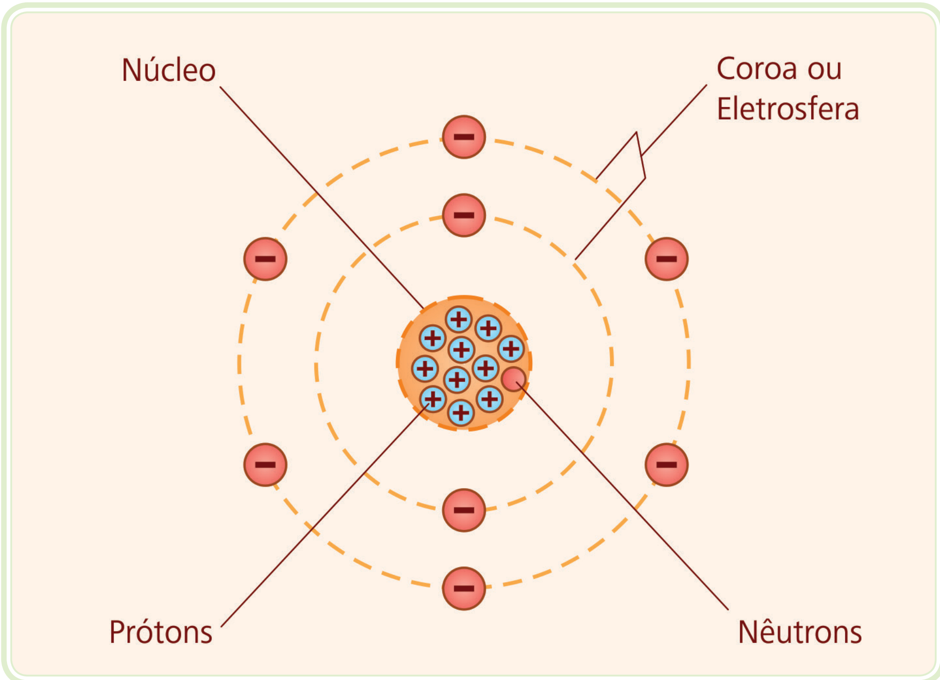

Figura 7.1: Constituição de um átomo
Fonte: CTISM

Num átomo, o número de prótons é igual ao número de elétrons; como um todo, o átomo é eletricamente neutro. Ao se atritar o bastão de vidro e o pano de lã, ocorre uma troca de elétrons entre eles, de modo que um fica com falta e o outro com excesso de elétrons. Os corpos que apresentam excesso ou falta de elétrons são chamados corpos eletrizados. Se num corpo o número de prótons é igual ao número de elétrons, diz-se que ele está eletricamente neutro.

7.2 Carga elétrica

Se pudéssemos separar os prótons, nêutrons e elétrons de um átomo, e lançá-los em direção a um imã, os prótons seriam desviados para uma direção, os elétrons a uma direção oposta a do desvio dos prótons e os nêutrons não seriam afetados. Esta propriedade de cada uma das partículas é chamada carga elétrica. A unidade de medida adotada internacionalmente para a medida de cargas elétricas é o coulomb (C).

Um próton e um elétron têm valores absolutos iguais, embora tenham sinais opostos. O valor da carga de um próton ou um elétron é chamado carga elétrica elementar e simbolizado pela letra e. A carga elétrica elementar é a menor quantidade de carga encontrada na natureza, comparando-se este valor com coulomb, então têm-se a relação: $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C.

Um coulomb é definido como a quantidade de carga elétrica que atravessa, em um segundo, a secção transversal de um condutor percorrido por uma corrente igual a 1 ampère.

Podemos definir a carga elétrica de um corpo (Q) pela relação: $Q = n \times e$, onde Q é a carga elétrica, medida em coulomb no SI e n é a quantidade de cargas elementares, que é uma grandeza adimensional e têm sempre valor inteiro (n = 1, 2, 3, 4 ...).

7.3 Corrente e tensão elétrica

A constituição de um átomo são os prótons, nêutrons e elétrons. Estes últimos estão disponíveis em órbitas (eletrosfera). Os elétrons das órbitas mais distantes são chamados "elétrons livres", os quais podem facilmente ser deslocados de suas trajetórias. Os elétrons das órbitas mais próximas são chamados "elétrons presos" não podendo ser deslocados de sua trajetória. O comportamento dos elétrons pode ser observado na Figura 7.2.

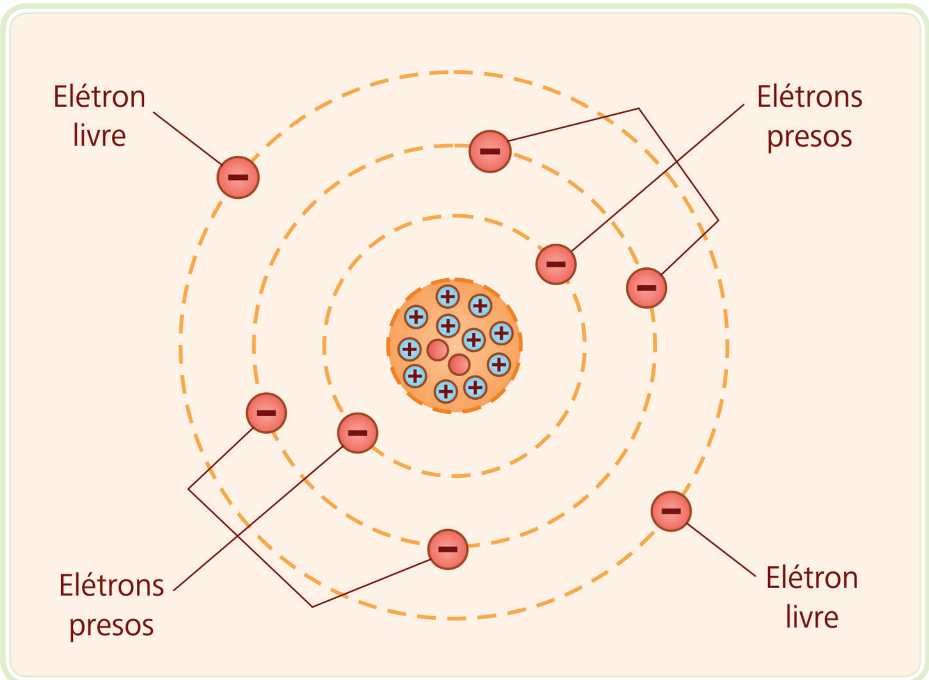

Figura 7.2: Comportamento dos elétrons em um átomo
Fonte: CTISM

O movimento natural dos elétrons livres acontece de forma desordenada, como exemplificado na Figura 7.3. Para um condutor de cobre, quando aplicado uma diferença de potencial, ou seja, em uma extremidade do condutor com cargas negativas e o outro com cargas positivas, os elétrons passam a ter um sentido orientado, como mostra a Figura 7.4, o que se denomina corrente elétrica.

A corrente elétrica é uma grandeza escalar e pode ser definida como a relação entre a carga elétrica que passa através de uma secção transversal de um fio condutor em determinado tempo, ou seja:

Equação 7.1

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

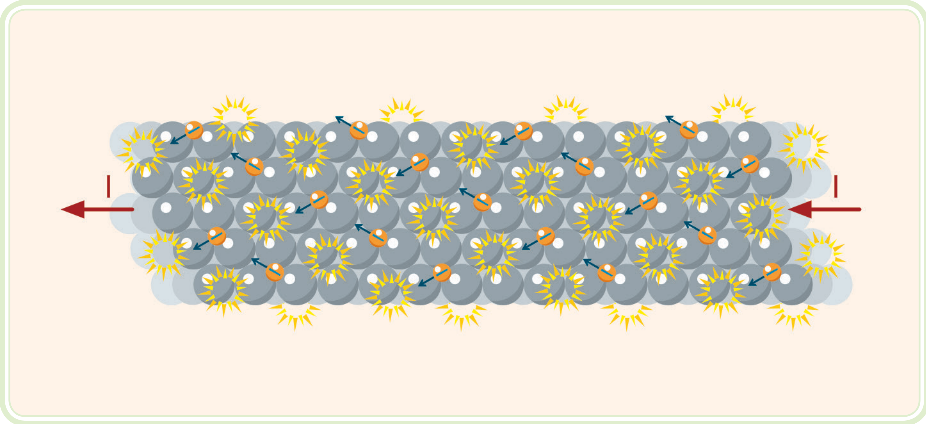

Figura 7.3: Movimento natural dos elétrons livre
Fonte: CTISM

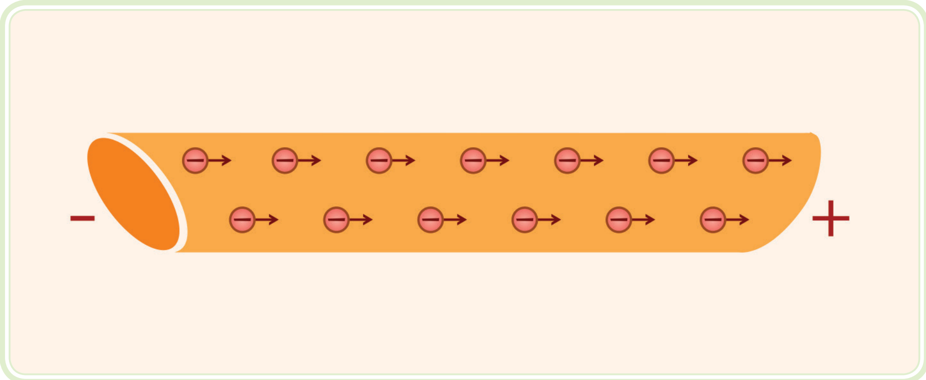

Figura 7.4: Movimento dos elétrons quando aplicada uma diferença de potencial
Fonte: CTISM

A definição para tensão elétrica é a pressão exercida sobre os elétrons para que exista movimento entre eles. Para que inicie a circulação de corrente elétrica, é necessário que haja uma diferença de potencial (d.d.p.) entre os pontos ligados. Os elétrons são "empurrados" do potencial negativo para o potencial positivo.

Exemplo
Uma corrente elétrica de intensidade igual a 5 A percorre um fio condutor. Determine o valor da carga que passa através de uma secção transversal em 1 minuto.

Solução

$$i = \frac{Q}{\Delta t} \quad \rightarrow \quad 5 = \frac{Q}{60} \quad \rightarrow \quad Q = 300\ C$$

7.4 Potência elétrica

A potência elétrica é uma grandeza física que mensura o desempenho dos aparelhos. A sua unidade de medida é o Watt e esta foi adotada pelo Segundo Congresso da Associação Britânica para o Avanço da Ciência, em 1889, em homenagem a James Watt (1736-1819) por sua contribuição em pesquisas e realizações com o motor a vapor. O watt é a relação entre energia (joule) e tempo (segundo), portanto sua unidade é J/s.

A relação também pode ser com unidades elétricas. Dessa forma, a potência (P) é o produto entre a tensão elétrica (U) e a corrente (i):

Equação 7.2

$$P = U \times i$$

Uma unidade de energia muito usada no campo da eletricidade é o quilo-watt-hora (kWh), que mensura o consumo de energia na unidade de tempo. Como o quilo (k) representa 1.000 unidades, 1 kWh representa 1.000 watts em uma hora.

O uso desta unidade pode ser visto nas contas de energia elétrica fornecidas pela concessionária de energia todos os meses aos consumidores. Procure a conta da sua residência e tire suas conclusões sobre o consumo.

7.5 Resistência elétrica

A propriedade básica dos resistores nos circuitos elétricos é sua resistência elétrica, que nada mais é que o "número de choques entre portadores e partículas do material por unidade de volume", para um dado estado de agitação térmica dessas partículas do material. Como a contagem de tais choques, no mundo microscópico, é muito complicada (se não impossível!), devemos obter esse resultado, no mundo macroscópico, por outras vias.

Aqui entra o mérito de George Simon Ohm. Ele verificou que, mantendo-se a temperatura (T) do material constante (para garantir a invariabilidade do estado de agitação térmica das partículas do material), a resistência elétrica (R) imposta pelo material em questão podia ser obtida pelo quociente entre a diferença de potencial (d.d.p.) aplicada (U) entre seus terminais (equivalente ao desnível entre os dois patamares no experimento acima) e a intensidade de corrente (i) que circula pelo material.

Equação 7.3

$$R = \frac{U}{i}$$

Esta equação também caracteriza a lei de Ohm, que mostra a proporcionalidade entre resistência, corrente e tensão: a corrente e a tensão são diretamente proporcionais, enquanto a resistência e a corrente são inversamente proporcionais. (resistência em ohm [Ω], tensão em volts [V] e corrente em ampère [A]).

Vários físicos dizem que esta não é uma lei, mas uma definição de resistência elétrica. Se nós queremos chamá-la de lei de Ohm, deveríamos então demonstrar que a corrente (i) através de um condutor metálico é proporcional à voltagem aplicada (d.d.p.). Isto é, R é uma constante, independente da d.d.p. em metais condutores. Dessa forma, a lei de Ohm não é uma lei fundamental, mas sim uma forma de classificar certos materiais: materiais ôhmicos e não ôhmicos. Os materiais que não obedecem à lei de Ohm são ditos ser não ôhmicos.

Nos resistores ôhmicos, a corrente elétrica (i) que os percorrem é diretamente proporcional à voltagem ou d.d.p. aplicada. Consequentemente, o gráfico V *versus* i é uma linha reta, cuja inclinação é igual ao valor da resistência elétrica do material, como mostra o gráfico da Figura 7.5(a).

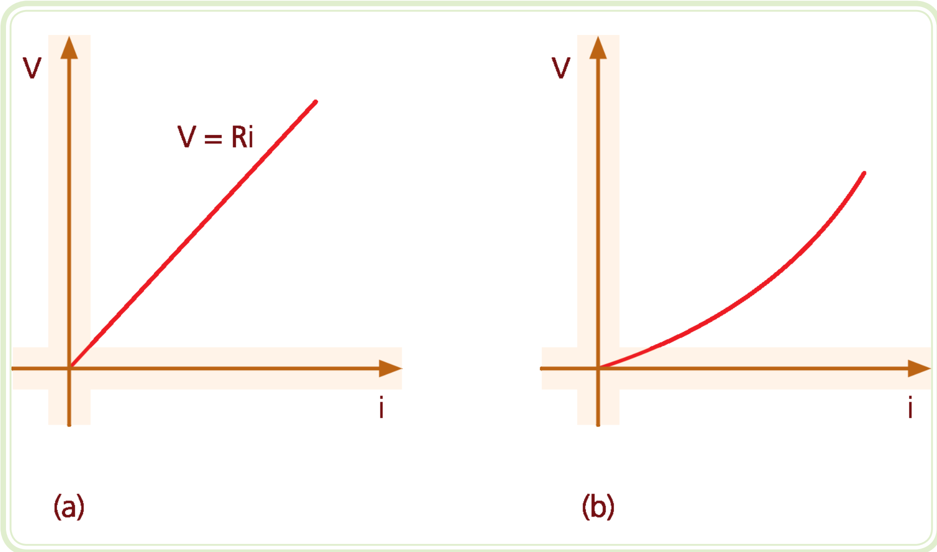

Figura 7.5: Resitores ôhmicos obedecem a lei de Ohm (a) e resistores não ôhmicos não obedecem a lei de Ohm (b)
Fonte: CTISM

Nos resistores não ôhmicos, alterando-se a d.d.p. nas extremidades destes materiais altera-se a intensidade da corrente elétrica (i), mas a duas grandezas não variam proporcionalmente, isto é, o gráfico de V *versus* i não é uma reta e, portanto, eles não obedecem a lei de Ohm, veja gráfico da Figura 7.5(b).

Desse modo, R é uma característica do condutor, dependente:

a) Do material de que é feito (pois isso afeta o número de partículas do material contidas na unidade de volume).

b) De sua geometria (pois afeta o volume total de percurso) o que, para fios comuns, se engloba sob a forma:

Equação 7.4

$$R = \frac{\rho \times L}{A}$$

Onde: ρ é a resistividade do material
L é o comprimento do fio
A é a área de sua seção transversal

c) Da sua temperatura (pois afeta o estado de vibração de suas partículas). Porém, independe da particular d.d.p. aplicada e da intensidade de corrente circulante.

7.6 Associação de resistores

Os resistores são elementos elétricos que convertem energia elétrica em energia térmica. Os materiais que têm este princípio são o aço, o tungstênio ou o carbono (carvão). Por este princípio, os resistores estão aplicados em situações nas quais desejamos aquecimento: ferro elétrico, chuveiro elétrico, secador de cabelo, lâmpadas incandescentes, etc.

Os resistores podem ser associados entre si de quatro formas diferentes: série, paralelo, estrela e triângulo. Estas duas últimas são mais conhecidas como associações mistas. O objetivo de associar resistores é o de ter uma resistência final como resultado, chamada de resistência total ou resistência equivalente (R_{eq}).

Na associação em série de resistores, eles são dispostos linearmente, como na Figura 7.6, e o valor é a soma algébrica dos valores dos resistores associados. O objetivo dessa associação é obter um valor de resistência total (R_t) maior que o possível com os resistores envolvidos.

Equação 7.5

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \ldots + R_n$$

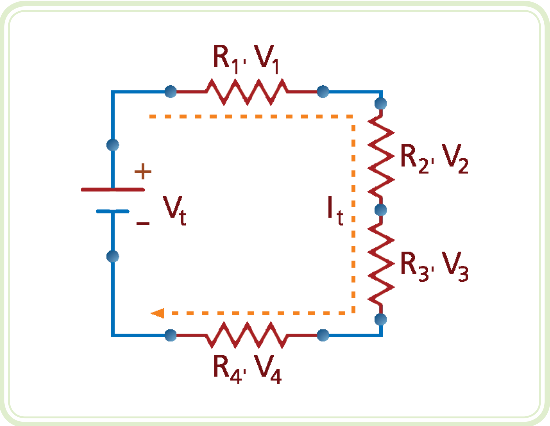

Figura 7.6: Associação em série de resistores
Fonte: CTISM

Uma associação em série de resistores apresenta as seguintes propriedades:

a) A corrente elétrica é a mesma em todos os resistores.

b) A diferença de potencial (d.d.p.) nos extremos da associação é igual à soma das dddps em cada resistor.

c) A resistência equivalente é igual à soma das resistências dos resistores associados.

d) O resistor associado que apresentar a maior resistência elétrica estará sujeito à maior d.d.p.

e) A potência dissipada é maior no resistor de maior resistência elétrica.

f) A potência total consumida é a soma das potências consumidas em cada resistor.

Na associação em paralelo de resistores, que estão dispostos em paralelo, como na Figura 7.7, o objetivo passa a ser a obtenção de um valor de resistência total (R_t) menor que o possível com os resistores envolvidos. O valor R_{eq} é:

Equação 7.6

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n}$$

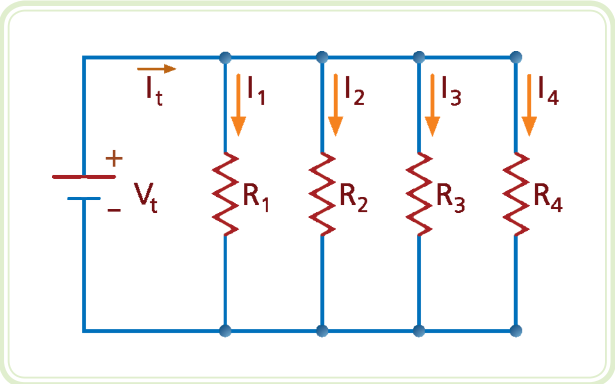

Figura 7.7: Associação de resistores em paralelo
Fonte: CTISM

Uma associação paralelo apresenta as seguintes propriedades:

a) A d.d.p. (voltagens) é a mesma para todos os resistores.

b) A corrente elétrica total da associação é a soma das correntes elétricas em cada resistor.

c) O inverso da resistência equivalente é igual à soma dos inversos das resistências associadas.

d) A corrente elétrica é inversamente proporcional à resistência elétrica, ou seja, na maior resistência passa a menor corrente elétrica.

e) A potência elétrica é inversamente proporcional à resistência elétrica, portanto, no maior resistor temos a menor dissipação de energia.

f) A potência total consumida é a soma das potências consumidas em cada resistor.

As associações mistas de resistores devem atender a uma ordem de resolução, até chegar à resistência equivalente de forma a armar o circuito, encontrando as resistências equivalentes parciais, para que a última forma seja um circuito em série ou em paralelo (Figura 7.8).

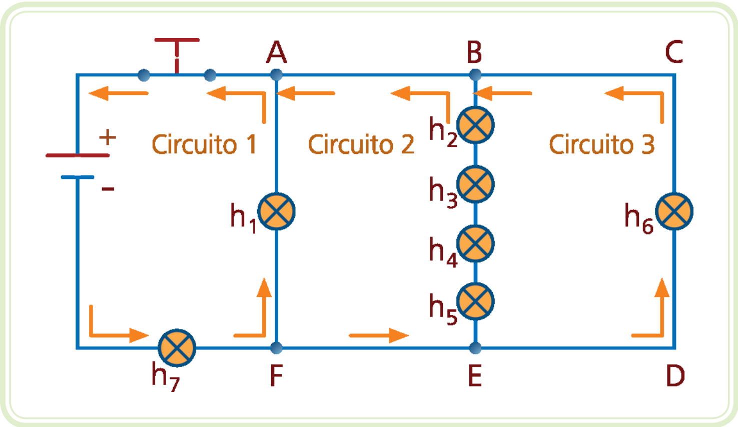

Figura 7.8: Associação de resistores em série e paralelo
Fonte: CTISM, adaptado de Coelho, 2010

Exemplo 01
Três resistores de resistências elétricas iguais a $R_1 = 20\ \Omega$; $R_2 = 30\ \Omega$ e $R_3 = 10\ \Omega$ estão associados em série e 120 V é aplicado à associação.

Determinar
a) A resistência do resistor equivalente.

b) A corrente elétrica em cada resistor.

c) A voltagem em cada resistor.

d) A potência total consumida pelos resistores.

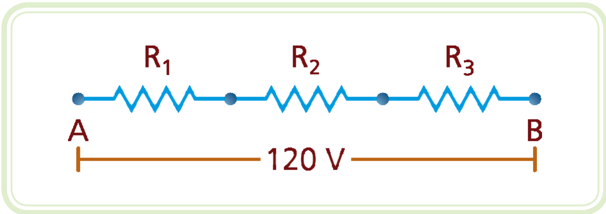

Figura 7.9: Ilustração do Exemplo 01
Fonte: CTISM, adaptado de Coelho, 2010

Solução

a) $R_E = R_1 + R_2 + R_3 = 20 + 30 + 10 = 60\ \Omega$

b) $U = R_E \times i \rightarrow 120 = 60 \times i \rightarrow i = 2$ A (para todos os resistores)

c) $U_1 = R_1 \times i \rightarrow U_1 = 20 \times 2 = 40$ V

$U_2 = R_2 \times i = 30 \times 2 = 60$ V

$U_3 = R_3 \times i = 10 \times 2 = 20$ V

d) $P_T = P_1 + P_2 + P_3 = U_1 \times i + U_2 \times i + U_3 \times i = (40 + 60 + 20) \times 2 = 240$ W

Exemplo 02

Três resistores de resistências elétricas iguais a $R_1 = 60\ \Omega$; $R_2 = 30\ \Omega$ e $R_3 = 20\ \Omega$ estão associados em paralelo, sendo a d.d.p. da associação igual a 120 V.

Determinar

a) a resistência do resistor equivalente à associação.

b) A corrente elétrica em cada resistor.

c) A potência total dissipada pela associação.

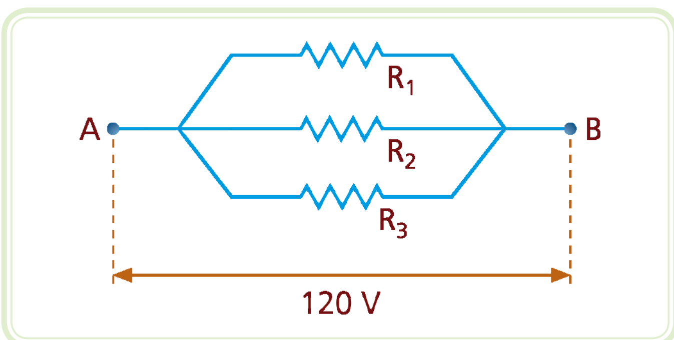

Figura 7.10: Ilustração do Exemplo 02
Fonte: CTISM, adaptado de Coelho, 2010

Solução

a) $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{60} + \frac{1}{30} + \frac{1}{20} \rightarrow R_{eq} = 10\ \Omega$

b) Em paralelo, a d.d.p. é a mesma em todos os resistores:

$$i = \frac{U}{R_1} = \frac{120}{60} = 2\ \Omega;\ i = \frac{U}{R_2} = \frac{120}{30} = 4\ \Omega;\ i = \frac{U}{R_3} = \frac{120}{20} = 6\ \Omega$$

a) $P_T = P_1 + P_2 + P_3 = U \times i_1 + U \times i_2 + U \times i_3 = 120 \times (2 + 4 + 6) \rightarrow$ PT = 1440 W

Exemplo 03

Determine a resistência equivalente da associação da Figura 7.11.

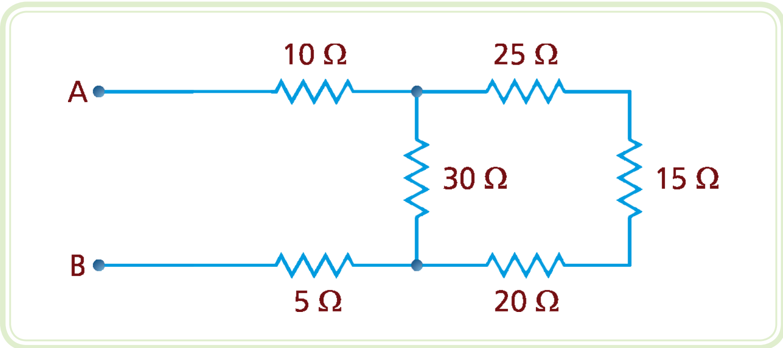

Figura 7.11: Ilustração do Exemplo 03
Fonte: CTISM, adaptado de Coelho, 2010

Solução

Resolvemos inicialmente os resistores associados em série: 25 Ω, 15 Ω e 20 Ω:

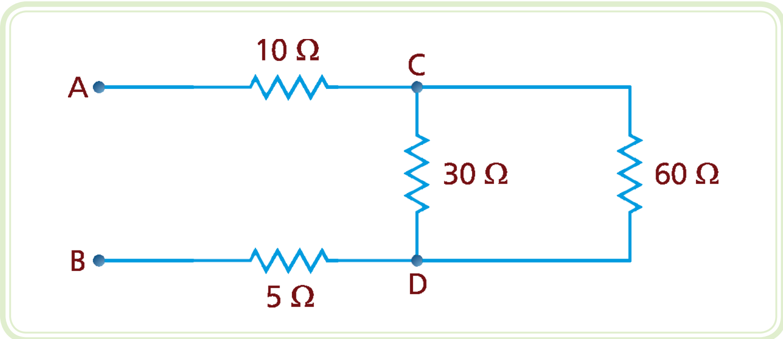

Figura 7.12: Ilustração do Exemplo 03
Fonte: CTISM, adaptado de Coelho, 2010

Entre os terminais A e B, temos dois nós que, na Figura 7.12, receberam a denominação de C e D. Lançando 30 e 60 todos os pontos A, B, C e D numa reta e lembrando que A e B são os extremos, temos:

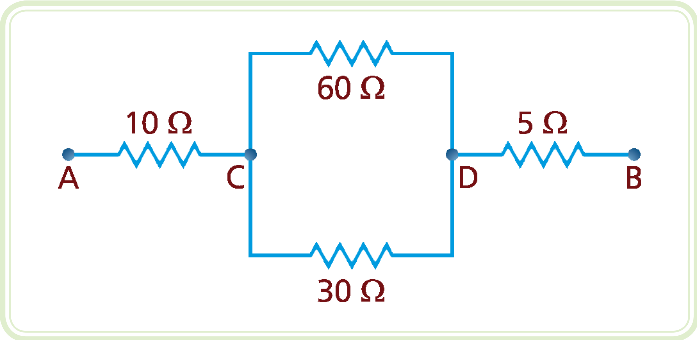

Figura 7.13: Ilustração do Exemplo 03
Fonte: CTISM, adaptado de Coelho, 2010

Resolvendo a associação em paralelo entre os resistores de 30 Ω e 60 Ω, temos:

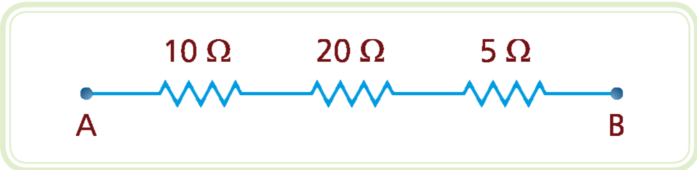

Figura 7.14: Ilustração do Exemplo 03
Fonte: CTISM, adaptado de Coelho, 2010

Finalmente, associamos os três resistores em série, obtendo a resistência equivalente:

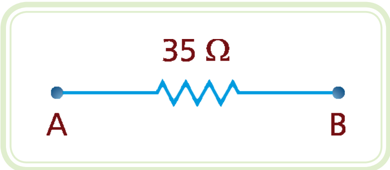

Figura 7.15: Ilustração do Exemplo 03
Fonte: CTISM, adaptado de Coelho, 2010

Resumo

A falta de elétrons em um polo e o excesso em outro originam uma diferença de potencial (d.d.p.), denominada tensão elétrica, cuja unidade é o volt. Esta tensão é considerada a força responsável pela movimentação de elétrons. Quando um condutor é ligado aos polos, os elétrons do polo negativo se movimentam ordenadamente para o polo positivo; esse movimento ordenado dos elétrons é denominado corrente elétrica. O produto da corrente pela tensão elétrica é denominado potência elétrica que mensura o desempenho dos aparelhos, cuja unidade é o watt.

A capacidade de um corpo se opor à passagem de corrente elétrica, quando existe uma diferença de potencial (d.d.p.) aplicada, se chama resistência elétrica.

Atividades de aprendizagem

1. Encontre o valor da resistência equivalente (R_{eq}) no circuito da Figura 7.16. Com o valor da R_{eq}, calcule a corrente (i) pela lei de Ohm.

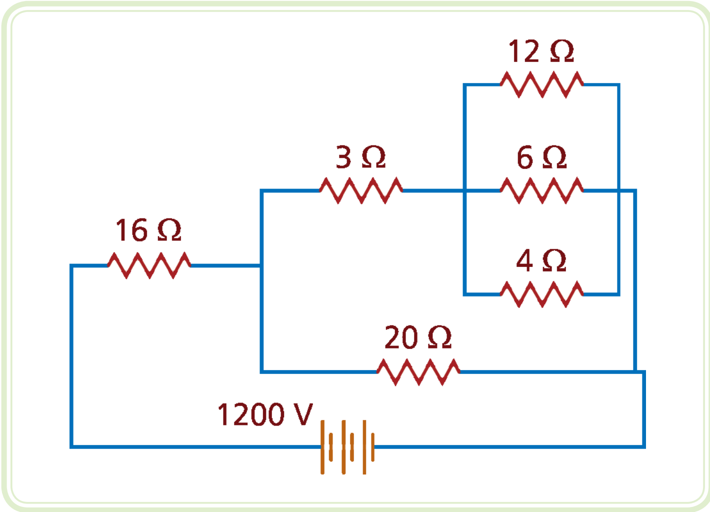

Figura 7.16: Ilustração da atividade de aprendizagem 1
Fonte: CTISM, adaptado de http://2.bp.blogspot.com

2. Determine o valor da tensão (U) pela lei de Ohm e determine a potência.

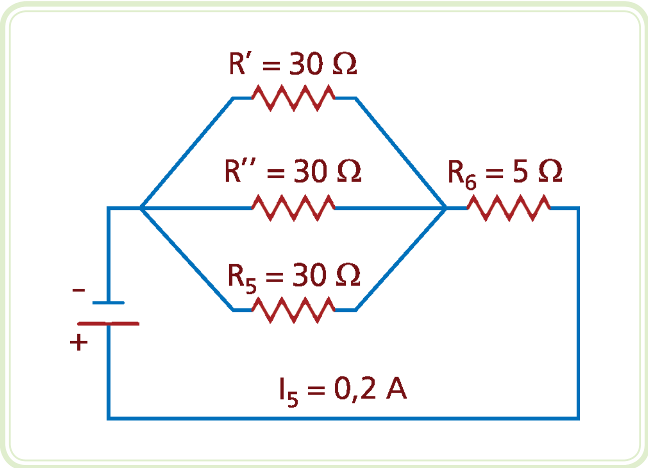

Figura 7.17: Ilustração da atividade de aprendizagem 2
Fonte: CTISM, adaptado de http://www.alunosonline.com.br/upload/conteudo/images/associacao-paralelo-serie.jpg

3. Se dispusermos de uma fonte capaz de produzir uma diferença de potencial igual a 600 V, quantos aquecedores elétricos, cada um com uma resistência de 25 Ω, deverão ser ligados em série a essa fonte de forma que cada um libere 100 W por efeito Joule?

4. Por um fio condutor metálico passam $2{,}0 \times 10^{20}$ elétrons durante 4 s. Calcule a intensidade de corrente elétrica que atravessa esse condutor metálico. (Dada a carga elementar do elétron $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C).

Referências

COELHO, M. F. O. **Fundamentos de física**. Manaus: Centro de Educação Tecnológica do Amazonas, 2010. 63 p.

COURROL, L. C.; PRETO, A. de O. **Apostila teórica óptica técnica I**. São Paulo: FATEC/SP, 2013.

SILVA, O. T. da; SILVA, E. V. de M. **Física aplicada**. Recife: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – IFPE, 2010.

Currículo do professor-autor

André Felippe Vieira da Cunha possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Pernambuco (1998), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2001) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2008). Atualmente é professor Adjunto da Universidade Federal de Pernambuco. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Ciências Térmicas e projetos de desenvolvimento direcionados à Geração de Energia Elétrica Solar.