

FÍSICA APLICADA A EDIFICAÇÕES

Marcos Honorato de Oliveira
Daniel Marlon Rodrigues Guedes

INFRAESTRUTURA

FÍSICA APLICADA A EDIFICAÇÕES

Marcos Honorato de Oliveira
Daniel Marlon Rodrigues Guedes

INFRAESTRUTURA



Autores

Marcos Honorato de Oliveira

Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Goiás (UEG), Mestre e Doutor em Estruturas e Construção Civil pela Universidade de Brasília (UnB). Atua na área de estruturas de concreto armado e protendido, bem como em pesquisas envolvendo o estudo do fenômeno de punção em lajes lisas de concreto armado e protendido e com dimensionamento e estabilidade de estruturas hidráulicas de infraestrutura em projetos de barragens. É professor adjunto no curso de Engenharia Civil da Universidade de Brasília (UnB), lecionando as disciplinas de Estruturas de Concreto Armado e Mecânica dos Sólidos.

Daniel Marlon Rodrigues Guedes

Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade de Brasília (UnB). Atualmente, integra a empresa Júnior Concreta Consultoria & Serviços. Foi bolsista da CAPES/CNPq pelo programa de iniciação científica Jovens Talentos para a Ciência, no qual desenvolveu pesquisa na área de Transportes (2015). Foi também bolsista voluntário no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), no qual desenvolveu pesquisa na área de Estruturas de Concreto Armado. Integrou o Grupo de Estudos de Tecnologias da Engenharia Civil da Universidade de Brasília (GETEC – UnB), sob a tutoria do professor Marcos Honorato de Oliveira, por meio do qual estudou estruturas de concreto armado e participou de cursos de qualificação profissional.

Design Instrucional

Pedro Meneses

Vinicius Abreu

Projeto Gráfico

NT Editora

Revisão

Filipe Lopes

Ricardo Moura

Scarlat Fonseca

Renata Kuhn

Capa

NT Editora

Ilustração

Rodrigo Souza

Editoração Eletrônica

Danilo Oliveira

NT Editora, uma empresa do Grupo NT

SCS Quadra 2 – Bl. C – 4º andar – Ed. Cedro II

CEP 70.302-914 – Brasília – DF

Fone: (61) 3421-9200

sac@grupont.com.br

www.nteditora.com.br e www.grupont.com.br

Oliveira, Marcos Honorato de; Guedes, Daniel Marlon Rodrigues

Física aplicada a edificações / Marcos Honorato de Oliveira;
Daniel Marlon Rodrigues Guedes – 1. ed. reimpr. – Brasília: NT
Editora, 2018.

136 p. il. ; 21,0 X 29,7 cm.

ISBN 978-85-8416-289-5

1. Física. 2. Edificações.

I. Título

Copyright © 2018 por NT Editora.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida por qualquer modo ou meio, seja eletrônico, fotográfico, mecânico ou outros, sem autorização prévia e escrita da NT Editora.

ÍCONES

Prezado(a) aluno(a),

Ao longo dos seus estudos, você encontrará alguns ícones na coluna lateral do material didático. A presença desses ícones o(a) ajudará a compreender melhor o conteúdo abordado e a fazer os exercícios propostos. Conheça os ícones logo abaixo:



Saiba mais

Esse ícone apontará para informações complementares sobre o assunto que você está estudando. Serão curiosidades, temas afins ou exemplos do cotidiano que o ajudarão a fixar o conteúdo estudado.



Importante

O conteúdo indicado com esse ícone tem bastante importância para seus estudos. Leia com atenção e, tendo dúvida, pergunte ao seu tutor.



Dicas

Esse ícone apresenta dicas de estudo.



Exercícios

Toda vez que você vir o ícone de exercícios, responda às questões propostas.



Exercícios

Ao final das lições, você deverá responder aos exercícios no seu livro.

Bons estudos!

Sumário

1 MEDIÇÃO E VETORES.....	9
1.1 Grandezas físicas	9
1.2 Notação científica.....	14
1.3 Vetores e escalares	17
1.4 Soma e produto de vetores	20
2 MOVIMENTO RETILÍNEO	28
2.1 Posição e deslocamento	28
2.2 Aceleração média e instantânea.....	35
2.3 Queda livre de corpos.....	39
3 LEIS DE NEWTON DO MOVIMENTO.....	45
3.1 Força	46
3.2 Primeira Lei de Newton.....	47
3.3 Segunda Lei de Newton.....	50
3.4 Terceira Lei de Newton	51
4 APLICAÇÕES DAS LEIS DE NEWTON	57
4.1 Atrito	57
4.2 Plano inclinado.....	62
4.3 Movimento circular uniforme.....	63
5 ENERGIA, TRABALHO E POTÊNCIA.....	71
5.1 Trabalho	72
5.2 Energia cinética.....	74
5.3 Potência	77
5.4 Energia potencial.....	79
6 EQUILÍBRIO DE PARTÍCULAS E CORPOS RÍGIDOS.....	89
6.1 Equilíbrio de partículas	89
6.2 Torque.....	92
6.3 Equilíbrio de corpos rígidos.....	95
7 HIDROSTÁTICA	103
7.1 Propriedades dos fluidos.....	104
7.2 Pressão em um ponto e os Teoremas de Stevin e de Pascal.....	107
7.3 Empuxo e princípio de Arquimedes.....	111

8 CALORIMETRIA.....	117
8.1 Temperatura e equilíbrio térmico.....	117
8.2 Quantidade de calor.....	121
8.3 Dilatação térmica	126
GLOSSÁRIO	133
BIBLIOGRAFIA	136

Caro(a) aluno(a),

Seja bem-vindo(a) à **Física Aplicada a Edificações!**

A ciência está presente nas edificações em diversos aspectos. A Física é uma dessas ciências, que tem papel fundamental na construção civil, uma vez que provê os conhecimentos que viabilizam o avanço e a modernização das edificações. Pensando assim, trazemos o conteúdo dessa ciência de maneira não apenas teórica, mas com exercícios que visam desenvolver em você a capacidade de resolução de problemas relacionados à Física em edificações.

Bons estudos!

1 MEDIÇÃO E VETORES

A Física busca descrever as leis que regem o universo. Nesse sentido, surge a necessidade de dar nome aos fenômenos observados na natureza, denominados grandezas físicas. A fim de medir quantitativamente essas grandezas, damos a elas unidades de medidas, que se baseiam em padrões de referência estabelecidos. Portanto, nesta lição, vamos estudar a base das grandezas físicas, incluindo suas unidades de medida e formas de representação, e os vetores, explicando para que servem e como podemos trabalhar com eles.

Então, vamos começar?

Objetivos

Ao finalizar esta lição, você deverá ser capaz de:

- identificar grandezas físicas e utilizar suas unidades de medida corretamente;
- apontar as principais unidades do sistema internacional de medidas;
- conhecer unidades de medida, bem como representá-las em notação científica;
- diferenciar precisão de acurácia;
- executar operações básicas entre vetores, como soma, subtração e produto.

Medição e vetores em edificações

Saber trabalhar com unidades de medida de forma adequada é fundamental para um profissional que lida com desenhos, projetos, análises e interpretação de trabalhos de terceiros e acompanhamento de cronogramas. Aqui, apresentaremos as principais unidades de medida utilizadas no sistema internacional. É de igual importância saber realizar conversões entre unidades de medida, uma vez que o profissional técnico em edificações lida com projetos de outros profissionais, bem como catálogos, os quais algumas vezes são apresentados em unidades diferentes daquelas que o técnico irá trabalhar.

Os vetores são um recurso matemático, que muitas vezes também serve como recurso gráfico para a visualização e a solução de diversos problemas físicos e matemáticos. Portanto, é uma ferramenta que ajudará o técnico em edificações na solução de problemas.

1.1 Grandezas físicas

Ao estudar Física, estaremos em todo tempo tratando de diferentes fenômenos físicos, compreendidos como as ocorrências no mundo físico que conseguimos observar, perceber e, quase sempre, medir. Os cientistas, ao estudarem um fenômeno, buscam identificar padrões, muitas vezes por meio de experimentos, com o intuito de compreender o que rege tal fenômeno, caracterizá-lo e medi-lo. Com base nisso, qualquer número utilizado para caracterizar quantitativamente uma particularidade



Grandeza física:

propriedade de um fenômeno, corpo ou substância que pode ser medida.

Massa:

quantidade de matéria de um corpo que, ao mesmo tempo, é uma medida da resistência de um corpo a uma variação de sua velocidade.

Velocidade:

medida da variação da posição em um intervalo de tempo.

ou propriedade de um corpo ou fenômeno físico denomina-se **grandeza física**. Por exemplo: um atleta, ao completar uma corrida, consegue saber em quanto tempo ele a completou, porque o tempo é uma grandeza física e podemos medi-la.



Algumas grandezas, classificadas como fundamentais, são caracterizadas quantitativamente apenas pela forma como utilizamos para medi-las. Elas não dependem de outras grandezas para serem definidas. Tempo, comprimento e **massa** são exemplos importantes de grandezas fundamentais. A partir delas, podemos caracterizar várias outras grandezas, que são chamadas de grandezas derivadas.

Saiba mais

A **velocidade**, por exemplo, que é definida como comprimento sobre tempo, em termos de grandezas físicas, é uma grandeza derivada.

As grandezas comprimento, tempo e massa estão associadas a diferentes dimensões:

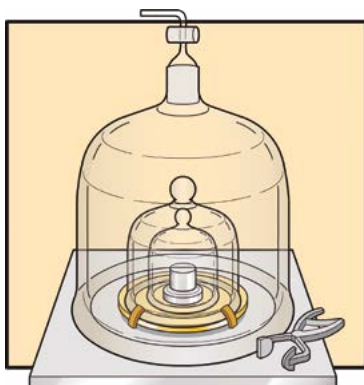
- ao comprimento está associada a dimensão L;
- ao tempo, a dimensão T;
- à massa, a dimensão M.

As grandezas físicas derivadas possuem as dimensões das grandezas que lhes deram origem. Por exemplo, a dimensão de velocidade é L/T. Veremos adiante mais detalhadamente essas dimensões à frente.

Unidades de medida

Para medir grandezas, fazemos uso de unidades de medida. Essas unidades se baseiam em padrões de referência. O quilograma (kg), por exemplo, é uma unidade de medida utilizada para medir a grandeza massa. Mas o que é um quilograma? Um quilograma é a unidade de medida de massa que tem como base o cilindro de platina e irídio de dimensões fixas, mantido na Agência Internacional de Pesos e Medidas (BIPM), localizada em Sèvres, na França.

Cilindro de platina e irídio



O cilindro de platina e irídio, ilustrado na imagem anterior, mantido cuidadosamente isolado na França, é o padrão de definição do quilograma.

As outras grandezas físicas fundamentais também são baseadas em um padrão de referência. Conforme veremos a seguir, no Sistema Internacional de Medidas, a unidade de medida padrão para o tempo é o segundo (s) e para o comprimento é o metro (m).

Edificando o conhecimento

Em relação às unidades de medidas, qual não representa uma grandeza fundamental?

- a) kg.
- b) m.
- c) m/s.
- d) s.

Comentário: a alternativa correta é a letra “c”. Como vimos, a unidade metro por segundo (m/s) é utilizada para quantificar a grandeza velocidade, que, por sua vez, não é uma grandeza fundamental.

O sistema internacional de medidas

Com o intuito de garantir que grandezas físicas sejam quantificadas de maneira uniforme em diversos locais no mundo, evitando que haja variações de um lugar para outro, foi criado em 1791 o sistema métrico, que desde 1960 passou a ser denominado oficialmente como Sistema Internacional (SI). A seguir, listamos as principais unidades do SI, com ênfase nas que mais utilizaremos ao decorrer do nosso estudo.

Grandeza	Unidade de medida	Abreviação da unidade
comprimento	metro	m
massa	quilograma	kg



Temperatura: medida do grau de agitação das moléculas.

Aceleração: medida da variação da velocidade em um intervalo de tempo.

Potência: medida da taxa de realização de trabalho em um intervalo de tempo.

Grandeza	Unidade de medida	Abreviação da unidade
tempo	segundo	s
corrente elétrica	ampere	A
temperatura	kelvin	K
quantidade de substância	mol	mol
intensidade luminosa	candela	cd
área	metro quadrado	m ²
volume	metro cúbico	m ³
frequência	hertz	Hz ou s ⁻¹
massa específica (densidade)	quilograma por metro cúbico	kg/m ³
velocidade	metro por segundo	m/s
aceleração	metro por segundo ao quadrado	m/s ²
força	newton	N
pressão	pascal	Pa
energia, trabalho, calor	joule	J
potência	watt	W
calor específico	joule por quilograma-kelvin	$\frac{J}{kg \cdot K}$
condutividade térmica	watt por metro-kelvin	$\frac{W}{m \cdot K}$
ângulo plano	radiano	rad



Importante

As unidades do SI não são as únicas utilizadas no mundo. Na verdade, existem outros sistemas de medida, como o sistema inglês, por exemplo, que possui diversas unidades, as quais, às vezes, também precisaremos utilizar, como polegadas, milhas e jarda, usadas para quantificar comprimento. Para não termos problemas de incompatibilidade ou introdução de erros na resolução de problemas, devemos utilizar, para cada grandeza física, uma mesma unidade de medida ao longo de todo o cálculo. Para isso, poderá ser necessário converter uma unidade de medida em outra.

Conversão de unidades de medida

Na resolução de problemas de Física, costumamos representar as variáveis do nosso problema por meio de símbolos ou letras. Seja, por exemplo, a velocidade representada pela letra v , a distância pela letra d e o tempo pela letra t . Dessa forma, a equação da velocidade média poderia ser representada por:

$$v = \frac{d}{t}$$

Dicas

Utilize sempre símbolos ou letras, em vez de números, ao trabalhar na solução de equações. Isso demandará um menor gasto de tempo e evitará que você cometa erros de conta.



Uma forma de verificar se a nossa equação está coerente é fazendo uma análise dimensional. Isso significa analisar se ambos os lados das equações possuem as mesmas dimensões.

Analisemos a equação anterior, por exemplo, em termos de suas dimensões.

Vemos que a dimensão de v é igual a $\frac{L}{T}$. Por outro lado, a dimensão de d é L. E, por fim, a dimensão de t é T. Com isso, vemos que ambos os lados da equação possuem as mesmas dimensões: $\frac{L}{T} = \frac{L}{T}$. Logo, há coerência dimensional.

Dicas

Ao expressar a dimensão de uma variável, basta colocar o seu símbolo entre colchetes e, do outro lado da equação, a respectiva dimensão (ou equação dimensional). Exemplo:

$$[v] = \frac{L}{T}$$

$$[d] = L; [t] = T.$$



É importante que, quando você for inserir os valores na equação, adote as mesmas unidades de medidas para cada dimensão. Por exemplo: não devemos misturar em uma mesma equação as unidades metro e polegadas para representar a dimensão L. Antes, devemos convertê-las para um único padrão. Neste material, utilizaremos, nos cálculos finais, sempre as unidades de medida do SI. Portanto, caso os dados de entrada do problema estejam em outras unidades de medida, devemos, primeiramente, converter esses valores para as unidades do SI.

Vejamos, agora, um exercício resolvido para que você fixe melhor esses conceitos.

A velocidade do som a 0° é de, aproximadamente, 331,45m/s. Expresse essa velocidade em km/h.

Solução:

Sabendo que 1km = 1.000m, temos que $\left(\frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}}\right) = 1$. Além disso, temos que $\left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}\right) = 1$.

Logo, uma forma simples de convertermos unidades é multiplicando essas frações de equivalências entre unidades de medida, que nada mais são do que fatores de conversão.

Assim, temos que:

$$331,45 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \left(331,45 \frac{\cancel{\text{m}}}{\cancel{\text{s}}}\right) \cdot \left(\frac{1 \text{ km}}{1000 \cancel{\text{m}}}\right) \cdot \left(\frac{3600 \cancel{\text{s}}}{1 \text{ h}}\right) = 331,45 \cdot 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 1.193,22 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Logo, a velocidade é de 1.193,22km/h.



Saiba mais

Ao chegar a um resultado, raciocine se ele faz sentido. Questione se fisicamente aquele número é razoável para o problema em questão. No exemplo anterior, se chegássemos a um resultado errôneo de 1.193.220km/h, poderíamos analisar e ver que essa é uma velocidade altíssima, muito além das mais altas velocidades atingidas por qualquer caça aéreo. Se você conseguir se lembrar disso e de que alguns caças aéreos ultrapassam a velocidade do som, seria possível chegar à conclusão de que a resposta encontrada estaria errada.



O procedimento aqui adotado para conversão de unidade pode ser utilizado para a conversão de outras grandezas e unidades de medida. O princípio é o mesmo: encontrar o fator de conversão ao montar uma relação entre as duas unidades de medida e, em seguida, multiplicar esse fator pela grandeza para cuja unidade se quer converter.



Edificando o conhecimento

Sabendo que 1 polegada equivale a 2,54 centímetros, qual a área da seção de uma barra de aço circular de 1/2" (meia polegada) de diâmetro?

- a) 0,997cm².
- b) 3,142cm².
- c) 1,270cm².
- d) 0,196cm².

Comentário: a alternativa correta é a letra "a". Como estudamos, para resolver o problema, podemos primeiro transformar 0,5pol para centímetros: $0,5 \text{ pol} \cdot \left(\frac{2,54 \text{ cm}}{1 \text{ pol}}\right) = 1,27 \text{ cm}$. Agora, basta calcularmos a área da seção circular: $A = \frac{\pi \cdot d}{4} = \frac{\pi \cdot 1,27}{4} = 0,997 \text{ cm}^2$.



Precisão: grau do qual a variável são as medidas realizadas.

Acurácia: grau de diferença entre o valor medido e o valor real.

1.2 Notação científica

Agora, falaremos sobre a representação de números, prefixos de unidades de medida, assim como sobre os conceitos de **precisão** e **acurácia**.

Você sabe qual é a velocidade da luz no vácuo? Ela é igual a 299.792.458m/s. Esse é um número bastante elevado, não é? Mas é isso mesmo! Entretanto, representar a velocidade da luz com tantos algarismos assim nem sempre é conveniente. Em alguns casos, seria suficiente dizer que a

velocidade da luz é de 3×10^8 . A potência 10^8 está multiplicando o número 3. Em outras palavras, ao omitir os outros algarismos, estamos dizendo que a velocidade da luz é de, aproximadamente, 300.000.000m/s.

Saiba mais

A sonda Juno, da Nasa, é o objeto mais rápido já criado pelo homem e chegou a atingir uma velocidade de 250.000km/h ao se aproximar do seu destino, Júpiter, o maior planeta do Sistema Solar.

Para escrever um número em **notação científica**, nós o representamos com apenas 1 **algarismo significativo** à esquerda da vírgula. Calma, primeiro vamos entender o que são algarismos significativos. Suponha que, ao medir com uma régua simples uma folha de papel, encontramos o valor de 14,8cm. Esse valor possui 3 algarismos significativos. Isso significa, ainda, que o último algarismo à direita é incerto, uma vez que ele representa o nosso grau de incerteza.

Importante

Zeros no início de qualquer número não são algarismos significativos. Além disso, destacamos que a quantidade de algarismos significativos não depende da unidade de medida utilizada.

Exemplos:

- a) 0,025cm – possui apenas 2 algarismos significativos;
- b) 9,50km – possui 3 algarismos significativos.

Pois bem, retornando ao conceito de notação científica, caso queiramos escrever a velocidade da luz (299.792.458m/s) em notação científica, deixaremos apenas 1 algarismo significativo à esquerda da vírgula, e, à direita, dependerá do grau de incerteza que queiramos deixar no valor. Caso representemos com 4 algarismos à direita da vírgula, teremos: $3,00 \times 10^8$ m/s. Esse número possui um total de 5 algarismos significativos. Se quisermos expressar com 3 algarismos significativos, teremos: $3,00 \times 10^8$ m/s. Veja que o valor é bem próximo, mas, neste caso, devemos arredondá-lo para cima. Sempre que abreviamos um número, precisamos analisar se o primeiro algarismo omitido é menor do 5; caso seja, arredondaremos o valor para baixo. Caso contrário, em que o algarismo seja maior ou igual a 5, o valor abreviado será arredondado para cima. Veja o exemplo a seguir para você compreender melhor.

Exemplo:

- a) Ao abreviar e escrever o número 2,153km com 2 algarismos significativos, vemos que o primeiro algarismo a ser omitido é 5. Logo, arredondaremos o algarismo 1 para cima. Teremos, então: 2,2km. Caso queiramos, agora, escrever o mesmo número com 3 algarismos significativos, vemos que o primeiro algarismo a ser omitido é 3, que é menor do que 5. Logo, arredondaremos o número para baixo, ficando então: 2,15km.

Voltando a falar de incertezas, ao medir aquela folha de papel com uma régua simples e obter o valor de 14,8cm, nós associamos a esse valor um grau de incerteza de 0,1cm. Esse valor é o erro máximo esperado na medida realizada. É a máxima diferença que deve existir entre o valor que medimos e o valor real. Seria errado escrever o valor medido como 14,80cm, uma vez que a menor unidade de uma régua simples é 0,1cm, ou seja, 1mm. O grau de incerteza de uma medida define a acurácia de



Notação científica: forma de representação de números muito grandes ou muito pequenos usando a potência de 10.

Algarismo significativo: número de algarismos que representam a precisão de uma medida.

um número. Quanto menor o erro, ou grau de incerteza, no valor medido, mais acurado ele é. Escrevemos o erro após o número medido e após um sinal de \pm . Assim, o valor medido na folha de papel juntamente com o seu erro são expressos assim: $14,8 \pm 0,1\text{cm}$.

Caso utilizássemos um *vernier* para medir a mesma folha de papel, teríamos um resultado com mais algarismos significativos, uma vez que o *vernier* possui mais precisão do que uma régua simples. Poderíamos obter, por exemplo, um valor de $14,872\text{cm}$. Se o fabricante nos garantir um erro de, no máximo, $0,002\text{cm}$, poderíamos expressar o número como $14,872 \pm 0,002\text{cm}$. Por nos permitir obter mais algarismos significativos, o valor $14,872$ é mais preciso que $14,8$. E, pelo fato de o erro ser menor, essa medida é mais acurada do que a realizada pela régua.

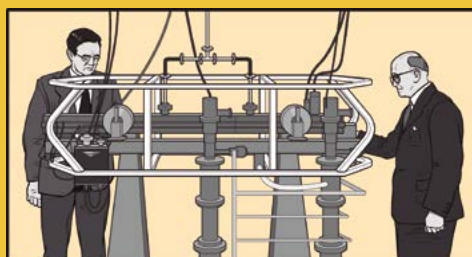
Um relógio de pulso digital barato pode ter uma precisão grande, a ponto de mostrar até mesmo os segundos em sua marcação. Entretanto, em algumas semanas, ele pode atrasar na ordem de minutos. Já um relógio de ponteiro que não mostra os segundos, por ter uma acurácia melhor, atrasará menos, no entanto, por não informar os segundos, é menos preciso. Ficou clara a diferença entre precisão e acurácia agora, não é mesmo?



Saiba mais

O primeiro relógio atômico preciso foi construído em 1995 por Louis Essen, no Laboratório Nacional de Física do Reino Unido. Relógios atômicos apresentam altíssima precisão e acurácia. O Brasil possui, no Observatório Nacional, 2 relógios atômicos de Césio-133, que atrasam cerca de 10^{-9} segundos por dia. Logo, seriam necessários mais de 273 milênios para atrasá-lo em 1 segundo.

Relógio atômico de Louis Essen



Posição: local de um corpo ou partícula medido em relação a um sistema de coordenadas.

Unidade de medida: padrão de referência para a medida de uma grandeza física.

Quando usamos números com incertezas para realizar cálculos, os resultados também terão um grau de incerteza associado. Em caso de multiplicação ou divisão entre números, a quantidade de algarismos significativos do resultado não poderá ser superior à menor quantidade de algarismos significativos dos números envolvidos no cálculo. Por exemplo: $2,589 \times 3,15 \times 0,72 = 5,9$. O número com menos algarismos significativos é $0,72$, que possui apenas 2. Logo, o resultado deve possuir, no máximo, 2 algarismos significativos.

Por outro lado, ao adicionar e ao subtrair números, devemos nos atentar à **posição** da vírgula que indica a casa decimal, de forma que a incerteza do resultado seja igual à do número de maior incerteza. Por exemplo: $856,143 + 4,2 = 860,3$. Apesar de $856,143$ ter um grau de incerteza de $0,001$, a incerteza de $4,2$ é maior, $0,1$. Logo, o resultado não pode ser mais acurado e preciso do que os fatores que lhe deram origem. Por isso, o resultado também deve ter uma incerteza de $0,1$.

Para concluirmos esse tópico, citaremos os prefixos das unidades de medidas, que provavelmente você já conhece. Você sabe que 1.000 metros é igual a 1 quilômetro, logo, $1.000\text{m} = 1\text{km} = 1 \times 10^3$. Aqui, utilizamos o prefixo "k" para representar a potência de 10^3 . Semelhantemente, usamos o prefixo "c" ao escrever que $100\text{cm} = 100 \times 10^{-2}\text{m} = 1\text{m}$. Todos os prefixos podem ser utilizados para compor qualquer **unidade de medida** e facilitar a sua representação. No entanto, é importante ter

conhecimento de que alguns prefixos são mais usados do que outros quando em determinadas grandezas e circunstâncias. A seguir, apresentamos uma lista com os principais prefixos.

Nome	Símbolo	Potência	Escala
tera	T	10^{12}	Trilhão
giga	G	10^9	Bilhão
mega	M	10^6	Milhão
quilo	k	10^3	Milhar
hecto	h	10^2	Centena
deca	da	10^1	Dezena
nenhum	nenhum	10^0	Unidade
deci	d	10^{-1}	Décimo
centi	c	10^{-2}	Centésimo
mili	m	10^{-3}	Milésimo
micro	μ	10^{-6}	Milionésimo
nano	n	10^{-9}	Bilionésimo
pico	p	10^{-12}	Trilionésimo

Edificando o conhecimento

Qual a velocidade do som (1.193,22km/h) expressa em notação científica e com apenas 3 algarismos significativos?

- $1,20 \times 10^3 \text{km/h}$.
- $1,19 \times 10^3 \text{km/h}$.
- $1,19 \times 10^6 \text{km/h}$.
- $1,20 \times 10^6 \text{km/h}$.

Comentário: a alternativa correta é a letra “b”. Esse é um número com 3 algarismos significativos. O arredondamento foi feito para baixo, visto que o último algarismo significativo omitido é o 3, isto é, é um número menor do que 5. Além disso, a potência 10^3 está certa, pois está multiplicando o número 1,19 por 1.000. Ou seja, equivale a mudar a posição da vírgula em 3 casas, que foi o que fizemos ao escrever o número em notação científica.



Deslocamento: vetor que liga os pontos inicial e final de um deslocamento.

1.3 Vetores e escalares

Imagine um objeto que se move em linha reta sempre, para ambos os lados. Nesse caso, a direção de movimento é sempre a mesma, e o sentido pode ser apenas um lado ou outro. Para representar o **deslocamento** de um ponto a outro, poderíamos arbitrar uma origem, um lado positivo e um lado negativo e, assim, indicar o deslocamento por meio de um número. Já em um caso geral, para



Vetor: representação matemática para caracterizar uma grandeza vetorial.

Módulo: medida quantitativa de um vetor, ou da grandeza física representada por esse vetor.

Direção: propriedade comum a retas paralelas. É como uma reta em um sistema de coordenadas que indica para onde o vetor aponta.

Sentido: orientação do vetor na direção que ele está contido.

Trajatória: percurso percorrido por um corpo.

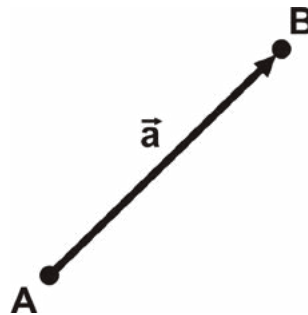
representar um deslocamento qualquer no espaço, essa metodologia não é suficiente. Precisamos, então, de um método mais preciso de representação, e, para isso, utilizamos vetores.

Saiba mais

Um vetor é um elemento matemático que possui módulo, direção e sentido.

Graficamente, o **módulo** é o tamanho do vetor, enquanto a **direção** é aquela na qual ele está contido. O **sentido**, por sua vez, é representado pela seta para onde o vetor aponta, conforme mostrado no deslocamento de A até B da figura a seguir. Costumamos dar nomes aos vetores por meio de letras e símbolos, juntamente com uma setinha indicada acima deles, como se vê na figura, que mostra o vetor. Como esse vetor liga os pontos A e B, podemos também chamá-lo de vetor AB.

Vetor deslocamento



Algumas grandezas físicas são representadas por vetores, e, por isso, são denominadas grandezas vetoriais. Deslocamento, velocidade, aceleração e forças são alguns exemplos de grandezas vetoriais. O vetor que representa o deslocamento chamamos de vetor deslocamento, o vetor que representa a velocidade chamamos de vetor velocidade, e assim por diante. Já outras grandezas não necessitam de vetores para serem expressas, pois possuem a sua determinação feita apenas por um número seguido de uma unidade de medida, como é o caso das grandezas escalares. Posição, temperatura e potência são alguns exemplos de grandezas escalares, que são representadas apenas por um número.

Importante

O vetor deslocamento independe da **trajetória** ou do caminho percorrido por um corpo. Apenas o ponto inicial e final definem o vetor. Veja a figura a seguir, na qual a curva tracejada representa a trajetória realizada por um corpo para se deslocar de A até B. Apesar disso, o vetor deslocamento desta variação de posição realizada pelo corpo não varia, pois depende apenas do ponto inicial e final do deslocamento.

Vetor deslocamento e trajetória em tracejado



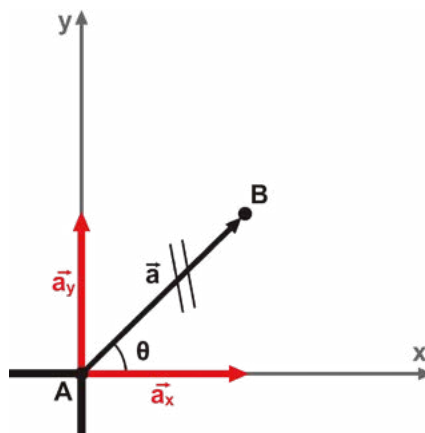
Componentes de vetores

Quando temos um vetor no plano, podemos desmembrá-lo em outros dois vetores, nas direções x e y do plano para representá-lo. Ao fazer isso, para não confundirmos os dois novos vetores com os antigos, passaremos dois riscos no vetor antigo para indicar que ele já está representado por outro vetor. Na figura a seguir, você pode ver que o vetor \vec{a} foi decomposto em dois vetores, que são seus componentes na direção x e y. Conforme veremos em breve, a soma dos componentes de um vetor é igual ao próprio vetor. Matematicamente, $\vec{a}_x + \vec{a}_y = \vec{a}$. Notamos, ainda, que o módulo dos vetores componentes é a fundação do módulo do vetor \vec{a} .

$$a_x = a \cdot \cos \theta$$

$$a_y = a \cdot \sin \theta$$

Vetor decomposto



Algumas vezes, a resolução de problemas ficará mais simples por meio da decomposição de vetores. Em outros casos, o vetor pode já vir representado numericamente, assim: $\vec{a} = (a_x, a_y)$. Nesse caso, não precisamos conhecer o valor de θ para decompor o vetor nas direções x e y, pois, nessa representação, os **componentes** já estão representados dentro dos parênteses em módulo. Caso queiramos saber o módulo de \vec{a} , basta fazermos isso a partir dos seus componentes. Temos que o seu módulo é dado por: $|\vec{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$.

Quando tratamos de vetores no espaço, temos agora a adição da direção z. Nesse caso, também decomparamos os vetores em seus componentes nas direções x, y e z. Com vetores no espaço, costumamos representá-los quase sempre numericamente, por meio da convenção $\vec{a} = (a_x, a_y, a_z)$ ou por uma representação equivalente, que trataremos na próxima seção: $\vec{a} = a_x \cdot \hat{i} + a_y \cdot \hat{j} + a_z \cdot \hat{k}$. Caso queiramos saber o módulo de \vec{a} , também é simples se fizermos isso a partir dos seus componentes. Temos que o seu módulo é dado por: $|\vec{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$.

Vetor unitário

Um **vetor unitário** é caracterizado por ter módulo igual a 1. A função de vetores unitários é especificar uma direção e um sentido apenas. Os três vetores unitários que utilizamos frequentemente são os vetores \hat{i} , \hat{j} e \hat{k} , que apontam no sentido positivo de x, y e z, respectivamente. Esses vetores estão mostrados na figura a seguir.



Componentes: parcela de um vetor na direção de um eixo de referência.

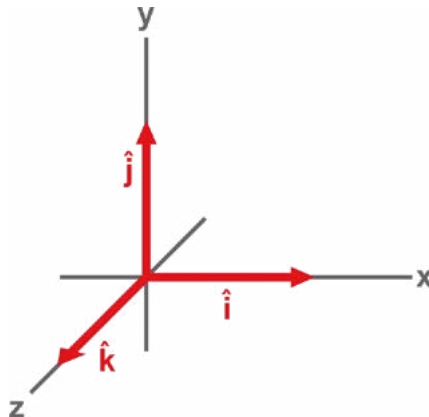
Vetor unitário: vetor de módulo igual a 1, e direção e sentido quaisquer.



Escalar: grandeza física não vetorial, ou seja, não possui direção e sentido, mas apenas o seu valor, o módulo.

Vetor resultante: é o resultado da soma de outros vetores e gera o efeito que esses vetores gerariam.

Vetores unitários \hat{i} , \hat{j} e \hat{k} , definidos nos sentidos positivos do sistema de coordenadas cartesiano.



Ao multiplicarmos um **escalar** por um vetor unitário, teremos um vetor cuja direção é semelhante à direção do vetor unitário e cujo módulo corresponde ao próprio escalar. Caso este seja positivo, o sentido será o mesmo do vetor unitário, mas, caso seja negativo, o sentido do novo vetor será o oposto do vetor unitário, no entanto, na mesma direção.

Dessa forma, caso quiséssemos representar o vetor velocidade do exercício anterior em função de vetores unitários, poderíamos escrever, em vez de $\vec{v} = (23,1, 34,7)$, que $\vec{v} = 23,1 \cdot \hat{i} + 34,7 \cdot \hat{j}$. Ambas as representações são muito utilizadas e significam a mesma coisa. Quando representamos vetores no espaço, a situação não muda, nós apenas adicionamos um terceiro componente, conforme já vimos.



Edificando o conhecimento

Calcule o módulo do vetor velocidade $\vec{v} = (23,1, 34,7)$, que está expresso em km/h.

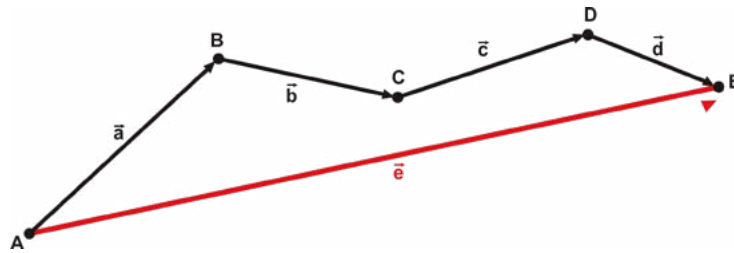
- a) 24,2km/h.
- b) 38,7km/h.
- c) 41,7km/h.
- d) 33,4km/h.

Comentário: a alternativa correta é a letra "c". Utilizando o procedimento explicado, podemos calcular o valor da velocidade por meio dos vetores componentes, que já foram dados no enunciado. Dessa forma, temos que $|\vec{v}| = \sqrt{23,1^2 + 34,7^2} = 41,7$. Como os valores foram dados em termos de km/h, então temos: $|\vec{v}| = 41,7\text{km/h}$.

1.4 Soma e produto de vetores

A soma e a subtração de vetores são operações que, frequentemente, precisamos realizar na Física. Imagine que um viajante se deslocou da cidade A, passando pelas cidades B, C e D e terminando sua viagem na cidade E, conforme mostra a figura a seguir. Poderíamos conhecer os vetores deslocamento entre cada cidade, mas não saber o vetor que liga a cidade A à cidade E. Para conhecer esse vetor, basta somarmos todos os vetores intermediários que ligam cada cidade. O vetor obtido denomina-se vetor resultante ou vetor soma. Na figura, o vetor \vec{e} é o **vetor resultante** da soma de todos os outros vetores.

Vetores deslocamento e vetor resultante



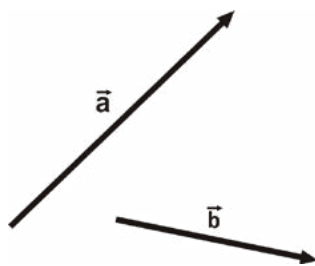
Ao somar ou ao subtrair vetores, obtemos como resultado um novo vetor, cujas componentes foram somadas ou subtraídas. Podemos representar a soma da figura anterior como:

$$\vec{e} = \vec{a} + \vec{b} + \vec{c} + \vec{d}$$

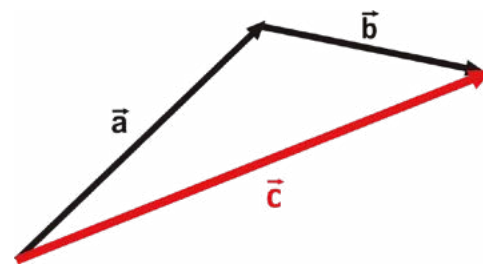
Numericamente, a componente x do vetor \vec{e} é igual à soma das componentes x dos demais vetores. Analogamente, as componentes y e z do vetor resultante são iguais à soma das componentes y e z, respectivamente, dos vetores somados.

Graficamente, ao somarmos dois vetores \vec{a} e \vec{b} quaisquer, como na figura à esquerda a seguir, podemos utilizar um método que consiste em ligar a origem de um vetor à extremidade do outro, como mostra a figura à direita a seguir. Não importa a ordem com que ligamos os vetores, pois a soma de vetores é associativa e comutativa, como veremos mais adiante. Ao ligarmos a origem de \vec{a} com a extremidade de \vec{b} , obteremos o vetor resultante \vec{c} .

Soma de dois vetores



Vetor resultante



Importante

A soma de vetores é comutativa, e isso significa que é válida a relação: $\vec{a} + \vec{b} = \vec{b} + \vec{a}$. A soma de vetores também é associativa, logo: $(\vec{a} + \vec{b}) + \vec{c} = \vec{a} + (\vec{b} + \vec{c})$. Um vetor negativo, como $-\vec{a}$, tem o mesmo módulo e direção que o vetor \vec{a} , porém sentido contrário. Dessa forma, subtrair $-\vec{a}$ é o mesmo que somar \vec{a} . Além disso, assim como fazemos com números na álgebra comum, com vetores podemos passar um vetor para o outro lado da igualdade em sinal contrário. Sendo assim, se $\vec{d} = \vec{e} - \vec{f}$, então $\vec{e} = \vec{d} + \vec{f}$.

Finalmente, trataremos agora do produto entre vetores. Existem dois tipos de produtos entre vetores: o **produto escalar** e o **produto vetorial**.

O produto escalar resulta em um escalar, ou seja, em um valor numérico apenas, sem direção e sentido. O produto escalar entre dois vetores \vec{a} e \vec{b} é definido pela seguinte equação:

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}||\vec{b}| \cos \theta$$



Produto escalar: produto entre dois vetores que tem como resultado um escalar.

Produto vetorial: produto entre dois vetores que tem como resultado um vetor.



Em que θ é o ângulo entre \vec{a} e \vec{b} . Veja que o lado direito da equação possui apenas escalares, o que está em concordância com o que já havíamos dito. Note que, se $\theta = 0$ e $\cos \theta = 1$, o produto escalar teria um valor igual à multiplicação algébrica dos módulos dos vetores. E, se $\theta = 90^\circ$, teríamos $\cos \theta = 0$, logo, o produto escalar seria nulo.

Se escrevermos \vec{a} e \vec{b} em função dos vetores unitários \hat{i} , \hat{j} e \hat{k} , podemos também definir o produto escalar como sendo:

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = (a_x \hat{i} + a_y \hat{j} + a_z \hat{k}) \cdot (b_x \hat{i} + b_y \hat{j} + b_z \hat{k})$$

Devido à propriedade distributiva do produto escalar, essa fórmula pode ser resumida em:

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z$$

Por sua vez, o **produto vetorial** entre dois vetores dá origem a um outro vetor, cuja direção é perpendicular ao plano que contém os dois vetores multiplicados. Podemos escrever o produto vetorial entre \vec{a} e \vec{b} por meio da seguinte equação:

$$\vec{a} \times \vec{b} = \vec{c}$$

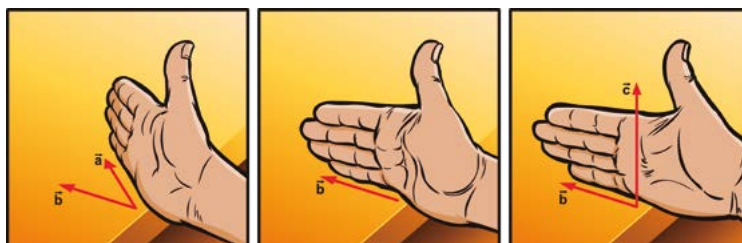
O módulo desse novo vetor é dado por:

$$|\vec{c}| = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \sin \theta$$

sendo θ o menor ângulo entre os vetores multiplicados.

Conforme já dissemos, a direção de \vec{c} é perpendicular ao plano que contém \vec{a} e \vec{b} . Já para determinarmos o sentido de \vec{c} , podemos utilizar a regra da mão direita. Para isso, devemos representar as origens de \vec{a} e \vec{b} superpostas e, a partir de \vec{a} , apontar para \vec{b} com os dedos do indicador ao mínimo. Dessa maneira, o nosso dedo polegar apontará no sentido de \vec{c} , conforme mostra a figura a seguir.

Regra da mão direita para determinar o sentido do vetor resultante de um produto vetorial



Importante

Diferentemente do produto escalar, a ordem aqui importa e altera o resultado. Nesse caso, $\vec{a} \times \vec{b} = -(\vec{b} \times \vec{a})$.

Ao escrevermos o produto vetorial em termos dos vetores unitários \hat{i} , \hat{j} e \hat{k} , temos que:

$$\vec{a} \times \vec{b} = (a_x \hat{i} + a_y \hat{j} + a_z \hat{k}) \times (b_x \hat{i} + b_y \hat{j} + b_z \hat{k})$$

Sabendo da propriedade distributiva do produto vetorial, podemos desenvolver essa equação e chegar ao seguinte resultado, em função dos vetores unitários:

$$\vec{a} \times \vec{b} = (a_y b_z - b_y a_z) \hat{i} - (a_x b_z - b_x a_z) \hat{j} + (a_x b_y - b_x a_y) \hat{k}$$

Esse valor nada mais é do que o determinante da matriz:

$$\begin{bmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{bmatrix}$$

Dicas

Conforme vimos, a multiplicação de um escalar qualquer por um vetor gera um outro vetor de mesma direção, mas com módulo multiplicado pelo valor do escalar e sentido igual ao do vetor original, caso o escalar seja positivo. Já no caso dele ser negativo, o sentido é invertido. Cuidado para não confundir essa multiplicação com o produto escalar entre vetores e o produto vetorial entre vetores.



Edificando o conhecimento

Calcule o produto escalar $\vec{u} \cdot \vec{v}$, sendo $\vec{u} = (5, 7)$ e $\vec{v} = (9, 12)$:

a) $\vec{u} \cdot \vec{v} = 71$.

b) $\vec{u} \cdot \vec{v} = 102$.

c) $\vec{u} \cdot \vec{v} = 129$.

d) $\vec{u} \cdot \vec{v} = 45$.

Comentário: a alternativa correta é a letra "c". Utilizando a fórmula de produto escalar, temos que: $\vec{u} \cdot \vec{v} = u_x v_x + u_y v_y + u_z v_z = 5 \cdot 9 + 7 \cdot 12 + 0 \cdot 0 = 45 + 84 = 129$. Note que esses vetores não possuem a componente z do vetor, de modo que $u_z = 0$ e $v_z = 0$.



Resumindo

Nesta lição, vimos os conceitos básicos para começarmos a estudar Física de verdade. O que tratamos aqui representa a base que utilizaremos no decorrer de todo o nosso estudo. Esperamos que você tenha entendido tudo o que foi apresentado e tente fazer cada um dos exercícios propostos.

Veja se você se sente apto a:

- reconhecer grandezas físicas e utilizar suas unidades de medida corretamente;
- indicar as principais unidades do sistema internacional de medidas;
- calcular unidades de medida, bem como representá-las em notação científica;
- distinguir precisão de acurácia;
- realizar operações básicas entre vetores, tais como soma, subtração e produto.



Parabéns,
você finalizou esta
lição!

Agora responda às
questões
ao lado.

Exercícios

Questão 1 – Sabendo que a unidade de medida internacional para a aceleração é m/s^2 , qual a dimensão dessa grandeza?

a) $\frac{L^2}{T}$.

b) $\frac{L}{T^2}$.

c) $\frac{L}{T^2}$.

d) $\frac{M}{T^2}$.

Questão 2 – Um garoto vai ao mercado comprar 3kg de carne e 6L de refrigerante. Com base nesses dados, assinale a alternativa que apresenta os valores da quantidade de carne e de refrigerante, respectivamente, nas unidades grama (g) e mililitro (mL).

a) 3.000g – 6.000mL.

b) 0,003g – 6.000mL.

c) 3.000g – 3.000mL.

d) 0,003g – 0,006mL.

Questão 3 – Quanto vale, em metros, $3,6km + 54,6cm$?

a) 360,546m.

b) 3.600,546m.

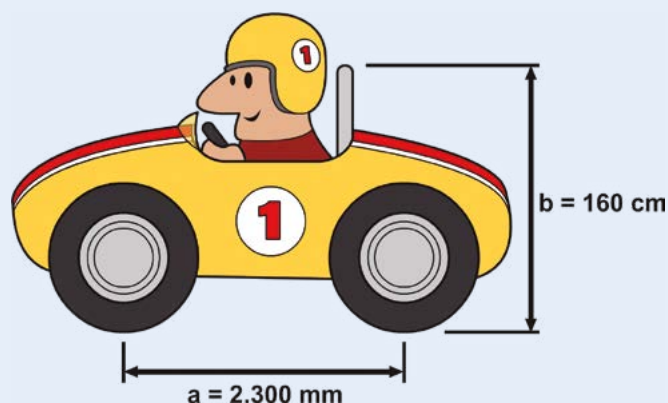
c) 365,460m.

d) 3.605.460m.

Questão 4 – Um mecânico de uma equipe de corrida necessita que as seguintes medidas realizadas em um carro sejam obtidas em metros:

- distância a entre os eixos dianteiro e traseiro;

- altura b entre o solo e o encosto do piloto.



Ao optar pelas medidas a e b em metros, obtêm-se, respectivamente:

- a) 0,23m – 0,16m.
- b) 2,30m – 1,60m.
- c) 23,0m – 16,0m.
- d) 230,0m – 160,0m.

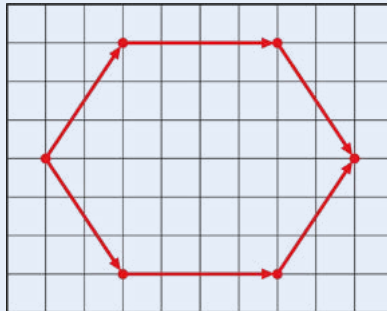
Questão 5 – Escrevendo o número $-0,0000000000000842$ em notação científica, temos:

- a) $-8,42 \cdot 10^{-15}$.
- b) $8,42 \cdot 10^{-14}$.
- c) $-8,42 \cdot 10^{-13}$.
- d) $-8,42 \cdot 10^{-14}$.

Questão 6 – A galáxia a qual pertencemos, Via Láctea, contém cerca de 250 bilhões de estrelas. Suponha que 0,01% dessas estrelas possuam um sistema planetário onde exista um planeta semelhante à Terra. Diante do exposto, é correto afirmar que o número de planetas semelhantes à Terra, na Via Láctea, seria igual a:

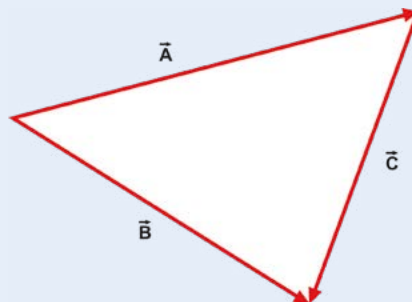
- a) $5,2 \cdot 10^7$.
- b) $2,5 \cdot 10^7$.
- c) $5,2 \cdot 10^5$.
- d) $3,8 \cdot 10^4$.

Questão 7 – Com 6 vetores de módulo iguais a $8u$, construiu-se o hexágono regular abaixo. O módulo do vetor resultante desses 6 vetores é igual a:



- a) $4u$.
- b) $8u$.
- c) $16u$.
- d) $32u$.

Questão 8 – Considere o diagrama vetorial da figura a seguir. Qual a expressão correta para representá-lo?



- a) $\vec{B} - \vec{A} = \vec{C}$.
- b) $\vec{B} + \vec{A} = \vec{C}$.
- c) $\vec{A} + \vec{B} = \vec{C}$.
- d) $\vec{C} + \vec{B} = \vec{A}$.

Questão 9 – Um aquário tem formato de paralelepípedo, possuindo largura de 50cm , comprimento de 32cm e altura de 50cm . Para encher $\frac{3}{4}$ dele com água, quantos litros de água serão necessários?

- a) $0,03\text{L}$.
- b) $0,3\text{L}$.
- c) 60L .
- d) $6,0\text{L}$.

Questão 10 - Calculando os módulos dos vetores $\vec{u} = (5, 3)$ e $\vec{v} = (3, 7)$, obtêm-se:

- a) $\vec{u} = 5,8$; $\vec{v} = 7,6$.
- b) $\vec{u} = 3,1$; $\vec{v} = 3,5$.
- c) $\vec{u} = 7,8$; $\vec{v} = 5,5$.
- d) $\vec{u} = 4,0$; $\vec{v} = 5,3$.

Gabarito: 1c; 2a; 3b; 4b; 5d; 6b; 7d; 8a; 9c; 10a.