

# **Introdução à Física e à Cinemática**

Prof. Toni Burgatto  
*Aula 00*

## SUMÁRIO

Introdução .....	4
<i>Metodologia do curso</i> .....	4
<i>Estatísticas dos vestibulares anteriores</i> .....	5
<i>Cronograma de aulas</i> .....	7
<i>Apresentação pessoal</i> .....	9
1. Introdução à Física .....	11
1.1. <i>Noções de Algarismos Significativos</i> .....	12
1.2. <i>Notação Científica</i> .....	15
1.3. <i>Ordem de Grandeza</i> .....	15
1.4. <i>Vetores</i> .....	16
1.5. <i>Lista de questões sobre vetores</i> .....	35
1.6. <i>Gabarito</i> .....	42
1.7. <i>Questões comentadas</i> .....	43
2. Introdução à cinemática escalar .....	58
2.1. <i>Conceitos básicos</i> .....	58
2.2. <i>Localização de um ponto material para um dado referencial</i> .....	58
2.3. <i>Movimento e repouso</i> .....	59
2.4. <i>Trajectoria</i> .....	60
2.5. <i>Espaço de um móvel</i> .....	63
2.6. <i>Função horária do espaço</i> .....	64
2.7. <i>Variação de espaço e distância percorrida</i> .....	66
2.8. <i>Relação entre m/s e km/h</i> .....	69
2.9. <i>Velocidade escalar média</i> .....	70
2.10. <i>Velocidade escalar instantânea</i> .....	76
2.11. <i>Movimento progressivo e retrógrado</i> .....	79
2.12. <i>Lista de exercícios</i> .....	81
2.13. <i>Gabarito</i> .....	88



2.14. Questões comentadas.....	89
3. Considerações finais.....	108
4. Referências bibliográficas.....	109
5. Versão de aula.....	110



# Introdução



**Olá futuros iteanos (as)!** Sejam bem-vindos ao nosso curso de física para os vestibulares do ITA.

O objetivo do nosso curso é oferecer, de forma mais completa, as bases necessárias da Física e ir para o nível exigido por esses dois vestibulares. Diante da fama desses vestibulares, nosso curso de Física será bem amplo, sendo prioritariamente assuntos de ensino médio com alguns temas abordados em nível superior.

Além dessa peculiaridade com assuntos de níveis superiores, essas provas gostam de aplicar questões de olimpíadas nacionais e internacionais, questões que exigem certas “sacadas” e “macetes” que serão abordados no nosso material. Tudo para que você tenha a melhor preparação para esses vestibulares.

Não há dúvidas que existem excelentes livros de Física pelo mundo a fora, entretanto, poucos são focados para o nível ITA. É preciso ter um certo cuidado na preparação, pois é muito comum os vestibulandos errarem a mão nos estudos: ou estudam determinados assuntos além do exigido pelo vestibular e acabam levando mais tempo para passar ou estudam de menos sem fazer questões no nível do vestibular.

Para garantir que você esteja estudando de maneira focada para o vestibular, nós preparamos um material completo, sendo cuidadosos nos assuntos específicos de Física. Inicialmente, começaremos com questões para consolidar a teoria, seguido de questões de nível médio, em geral, questões objetivas do ITA e, por fim, questões mais difíceis (em geral, discursivas).

Essa ordem crescente de dificuldade é fundamental para o estudo e, além disso, é muito importante que você saiba em qual nível se encontra. Tudo isso para você ter a teoria completa, com a melhor sequência de exercícios, sem sair do foco do vestibular.

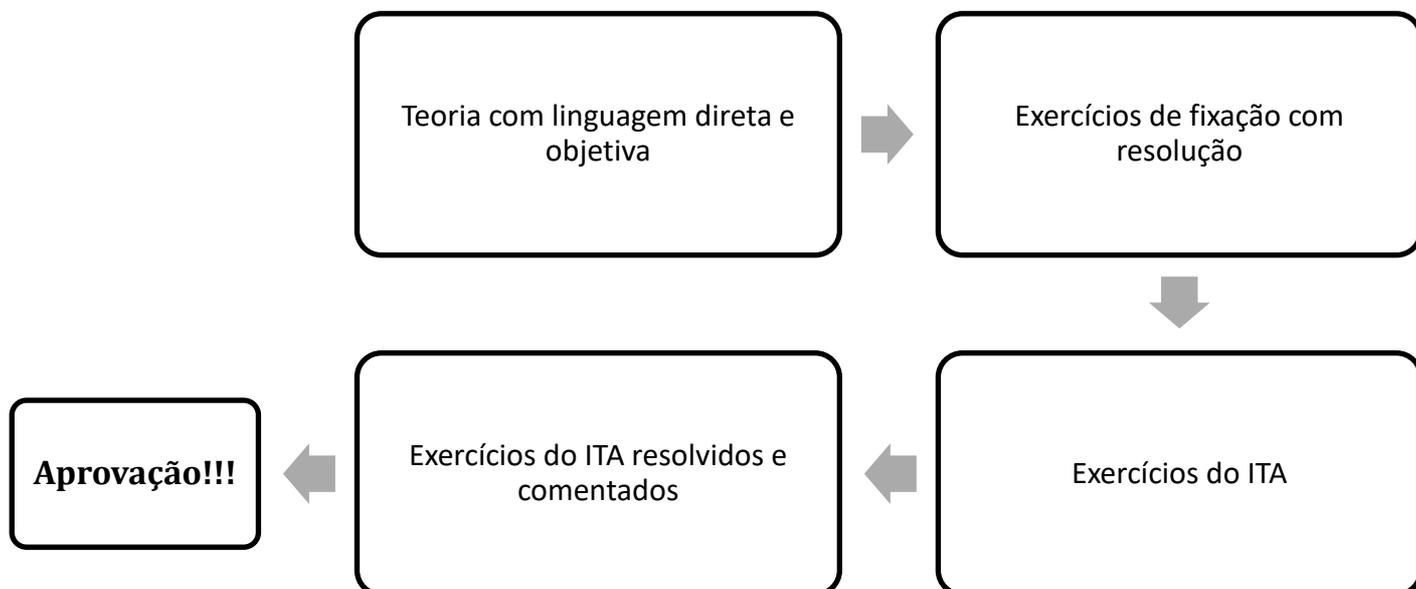
Dessa forma, acredito que, independentemente do nível em que você esteja ou da cidade em que você more, você tem totais condições para fazer sua jornada rumo ao ITA.

## Metodologia do curso

Neste curso, iremos apresentar toda base teórica para que você consiga resolver todas as questões de Física do ITA. Ao longo da teoria, resolveremos questões de Física para consolidar a teoria, seguidos de um banco de questões com ordem crescente de dificuldade. Resolveremos questões antigas do vestibular do ITA e questões que podem aparecer no seu vestibular.

Para isto, seguiremos o seguinte diagrama:





### Estadísticas dos vestibulares anteriores

Selecionamos a divisão de questões de Física do vestibular do ITA a partir de 2010, conforme a figura abaixo.

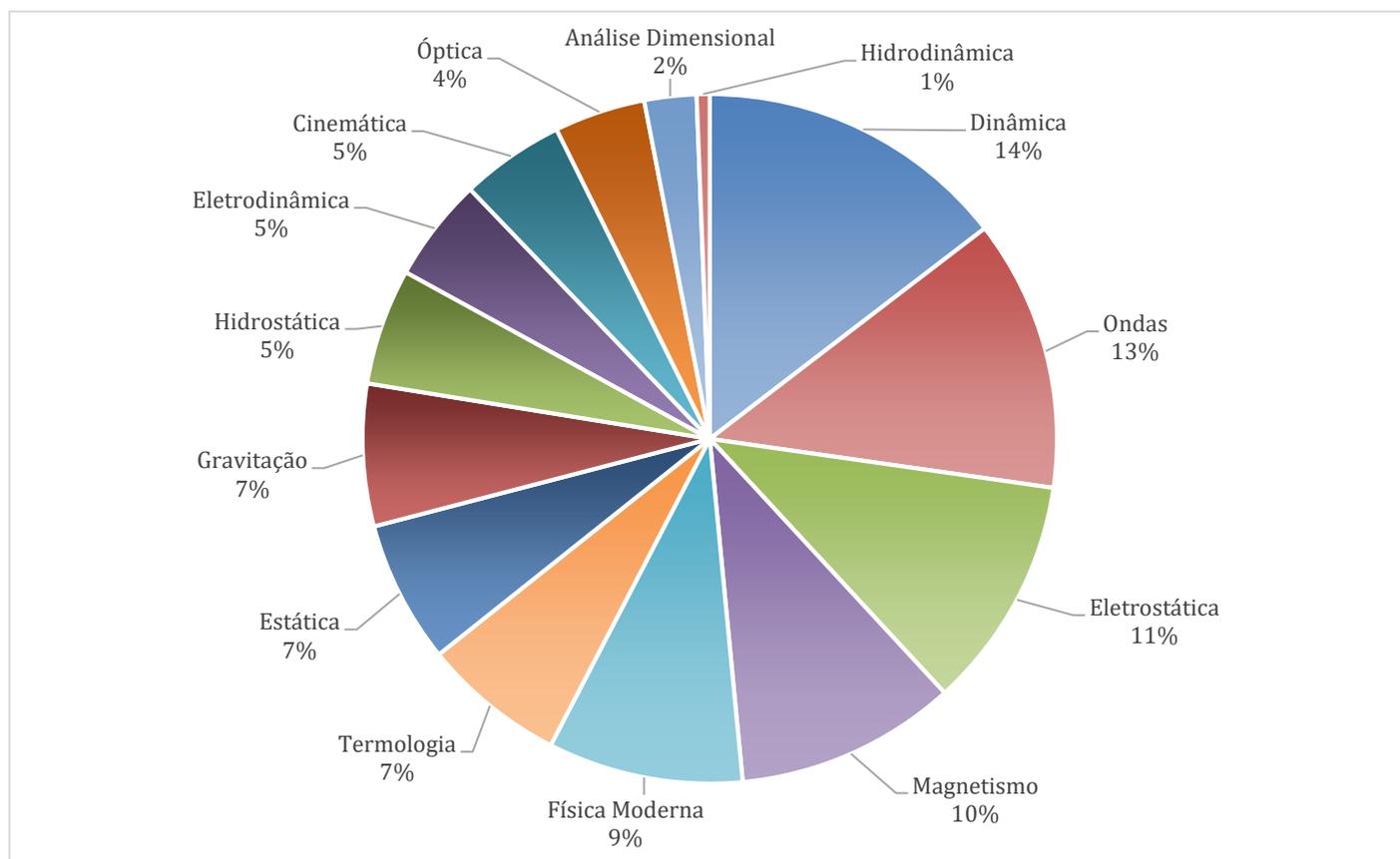


Figura 1: Estatística de questões de física por assuntos no ITA a partir de 2010.

Não é nenhuma surpresa que o assunto mais cobrado na prova é Mecânica (as leis de Newton, energia e quantidade de movimento). Esse assunto é um ramo da Física muito importante e é base para desenvolvimento de outros temas.

Por isso, o ITA exige dos candidatos uma excelente preparação, com todos os fundamentos bem consolidados nos seus alunos. Depois de Mecânica, Ondas e Eletromagnetismo surgem como matérias com alta incidência na prova. Esses assuntos serão fortemente abordados no nosso curso.

Diante disso, caro futuro iteano, aconselho fortemente a se dedicar para esses assuntos, aumentando suas chances de aprovação, até porque, geralmente as questões mais difíceis são referentes a esses temas.

Por isso, devemos tomar cuidado também com o orgulho de querer resolver todas estas questões na prova e não termos a humildade de pular determinadas questões no vestibular.

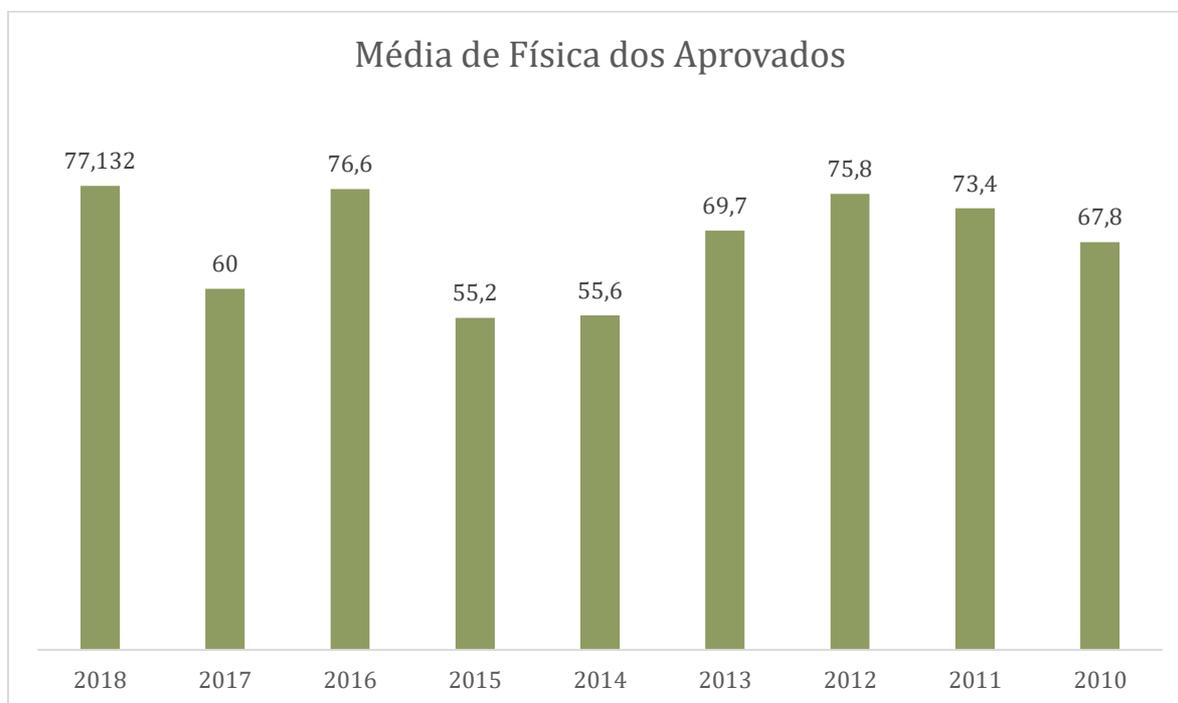


Figura 2: Média de física dos aprovados no ITA.

Além disso, como podemos ver na distribuição das médias de Física nos últimos anos, existe uma variação muito grande em determinados anos. Isto ocorre ao fato de diferentes bancas serem selecionadas para fazer a prova e, dependendo da banca, a prova vem muito difícil. É importante o candidato saber quais questões fazer e aqueles que ele pode pular, pois mesmo assim ele estará dentro da média dos aprovados.

## Cronograma de aulas

Com a missão de entregar o melhor curso para você, preparei o seguinte cronograma de aula, de acordo com o edital do ITA e na experiência com os vestibulares dessas instituições.

Aula	Título	Descrição do conteúdo
00	Introdução à Física e à cinemática.	Introdução à Física. Vetores. Produto escalar e produto vetorial. Conceitos de espaço e de tempo. Velocidade média. Funções horárias de espaço e de velocidade.
01	Movimento uniforme e uniformemente variado, análises gráficas, movimentos circulares.	Movimento Uniforme (MU). Aceleração. Movimentos acelerados e retardados. Movimento uniformemente variado (MUV). Movimento vertical no vácuo. Análises gráficas. Movimento circular. Movimento circular uniforme (MCU). Movimento circular uniformemente variado (MCUV). Transmissão de movimentos.
02	Cinemática vetorial, lançamento oblíquo e parábola de segurança.	Cinemática vetorial. Velocidade vetorial. Aceleração vetorial. Composição de movimentos. Lançamento oblíquo. Parábola de Segurança.
03	As leis de Newton, vínculos geométricos e referenciais não-inerciais.	Os princípios da dinâmica. As leis de Newton. Equilíbrios de um corpo. Forças em fios. Vínculos geométricos. Referenciais inerciais. Referenciais não-inerciais.
04	Força elástica, força de atrito e dinâmica do movimento circular.	Força de Atrito. Dinâmica do movimento circular. Força Elástica.
05	Introdução a eletrostática e lei de Coulomb.	A natureza elétrica da matéria. Princípios da Eletrostática. Condutores e isolantes. Processos de eletrização. Lei de Coulomb.
06	Estudo do campo elétrico e a lei de Gauss da eletricidade.	Conceito de Campo elétrico. Campo elétrico de cargas puntiformes. Campo elétricos e as linhas de forças. Condutor em equilíbrio eletrostático. Campo elétrico do conduto esférico. Densidade de carga. Lei de Gauss do campo elétrico.
07	Potencial elétrico, energia potencial elétrica e equipotenciais.	Potencial Elétrico. Conceitos de trabalho e energia. Sistemas conservativos. Equipotenciais e trabalho. Energia potencial elétrica. Potencial elétrico do condutor carregado e em equilíbrio eletrostático. Potencial em um campo elétrico uniforme.
08	Capacitância, capacitores e dielétricos.	Capacitância, capacitores e dielétricos.



09	Termometria e Dilatometria.	Termometria. Dilatação térmica dos sólidos e dos líquidos.
10	Calorimetria, mudanças de estado e diagramas de estados.	Calorimetria. Mudanças de estado. Diagrama de estado.
11	Propagação de calor e cinética dos gases.	Propagação de calor. Gases e transformações. Teoria cinética dos gases.
12	As leis da Termodinâmica, máquinas térmicas e entropia	Primeira Lei da Termodinâmica. Máquinas térmicas e a Segunda Lei da Termodinâmica. Irreversibilidade, desordem e entropia.
13	Energia mecânica: trabalho, potência e conservação.	Trabalho, potência e energia. Função energia potencial e conservação da energia mecânica.
14	Impulso e quantidade de movimento, colisões e centro de massa.	Impulso e quantidade de movimento. Colisões. Centro de massa.
15	Condições de corpos em equilíbrios. Dinâmica do corpo extenso.	Estática do ponto material e do corpo extenso. Tipos de equilíbrios. Condições de tombamento e de escorregamento. Dinâmica do corpo extenso.
16	Hidrostática e fluidodinâmica.	Hidrostática e fluidodinâmica.
17	Eletrodinâmica I: resistores, primeira lei de Ohm,	Resistores. Primeira e segunda lei de Ohm. Associação de resistores. Ponte de Wheatstone. Associação de resistores especiais.
18	Eletrodinâmica II: estudo da corrente elétrica e resistência elétrica.	Corrente elétrica. Tipos de corrente elétrica. Continuidade da corrente elétrica. Bipolo elétrico. Resistência elétrica. Efeito Joule. Introdução a circuitos elétricos.
19	Eletrodinâmica III: circuitos elétricos, leis de Kirchhoff e medidas elétricas, tópicos especiais.	Geradores e receptores elétricos. As leis de Kirchhoff. Resolução de circuitos elétricos. Medidas elétricas. Circuitos em regimes transitórios.
20	Óptica geométrica e espelhos.	Óptica geométrica. Reflexão da luz. Espelhos planos e esféricos.
21	Refração da luz, lentes esféricas e óptica da visão.	Refração da luz. Lentes esféricas delgadas. Equação dos fabricantes. Instrumentos ópticos. Óptica da visão.
22	Movimento harmônico simples.	Movimento harmônico simples (MHS). Períodos no MHS. Energia no MHS. Tipos de MHS.



23	Gravitação.	Gravitação. Sistema solar. Leis de Kepler. Força Gravitacional. Campo gravitacional. Movimento de Satélites. Energia na gravitação.
24	Introdução ao magnetismo e corrente em espiras.	Cargas elétricas e campo magnético. O campo magnético. Experiência de Oersted. Corrente retilínea gerando campo magnético. Corrente em espiras.
25	Força magnética e corrente, lei de Lenz e lei de Faraday-Neumann.	Força magnética em fio percorrido por corrente. Lei de Lenz. Lei de Faraday-Neumann.
26	Ondulatória I: ondas periódicas, interferência e princípio de Huygens.	Ondulatória. Ondas periódicas. Intensidade e potência de uma onda. Interferência. Princípio de Huygens. Experimento de Young.
27	Ondulatória II: anéis de Newton, acústica. Análise dimensional.	Anéis de Newton. Acústica. Análise dimensional.
28	Física Moderna.	Apenas ITA: princípios básicos da Física quântica. Átomo de Bohr. Física nuclear e radioatividade. Ondas e matéria. Princípio da incerteza de Heisenberg. Teoria da relatividade restrita de Einstein.

## Apresentação pessoal

Para aqueles que não me conhecem, meu nome é Toni Burgatto e sou formado em Engenharia Mecânica-Aeronáutica pelo ITA. Estudei em escola pública no ensino fundamental e médio e somente depois do término do ensino médio comecei a estudar para o ITA.

Ainda quando estava saindo do ensino médio, fiz técnico em eletrônica na minha cidade e lá conheci um pouco mais sobre o que era o ITA e como era o vestibular. Durante minha jornada, comecei a estudar do zero e com livros mais simples, por assuntos básicos, como teorema de Pitágoras. Cada livro e cada conselho de amigos que estavam estudando no ITA foram cruciais para minha aprovação.

Eu escolhi a carreira militar mesmo antes de entrar no ITA, já no vestibular, e lá, no segundo ano, eu optei novamente pela carreira (no ITA, é possível você mudar de carreira no final do segundo ano, quando existe um processo de recrutamento).

Em 2016 eu me formei e fui designado para trabalhar no Parque de Material Aeronáutico do Galeão (PAMA-GL) no Rio de Janeiro. Eu trabalhava na equipe de projetos do Parque, na seção de



Engenharia. Após sete meses, eu decidi sair da carreira, pois vi que não me encaixava no perfil. Desde então dou aula de matemática.

Conte comigo na sua caminhada rumo ao ITA. Vamos iniciar nosso curso!





# 1. Introdução à Física

De uma forma geral, podemos dizer que Física é a ciência que estuda as leis do universo, buscando entender as causas e os efeitos dos fenômenos físicos na natureza.

Na Física, as grandezas são propriedades mensuráveis de um fenômeno, corpo ou substância. Quando medimos essas propriedades, dividimos quantitativamente em dois grupos:

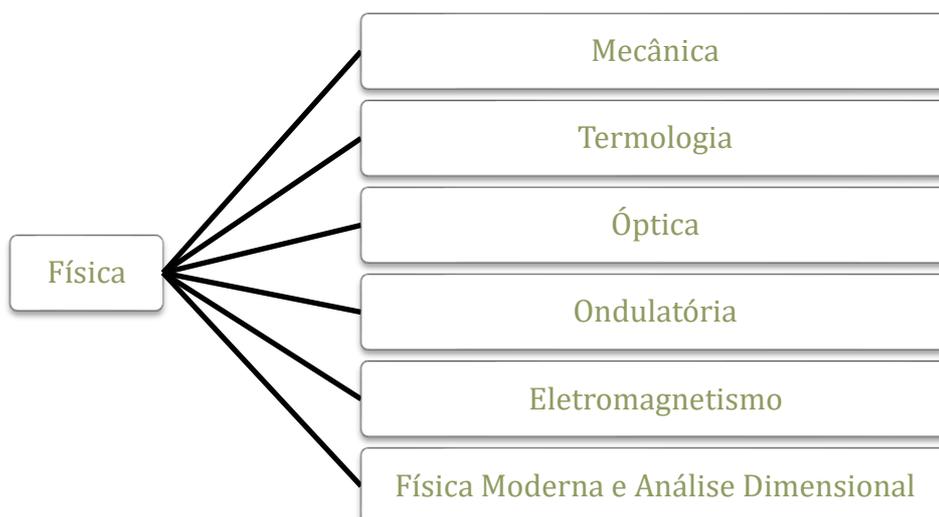
- **Grandezas escalares:** são aquelas que necessitam apenas de um número para representar sua magnitude e sua unidade de medida. Por exemplo: tempo, massa, temperatura etc.
- **Grandezas vetoriais:** são aquelas que necessitam de um número para representar sua magnitude, uma orientação (direção e sentido), e sua unidade de medida. Por exemplo: deslocamento, velocidade, aceleração, força, campo elétrico etc.

Unidade de medida é uma medida específica para uma determinada grandeza física. Por exemplo: unidade de tempo é segundo (s), unidade de massa é quilograma (kg) etc.

Nosso curso de Física está dividido em 6 áreas:

1. mecânica;
2. termologia;
3. óptica;
4. ondulatória;
5. eletromagnetismo; e
6. física Moderna e Análise Dimensional.

Neste momento, vamos estudar alguns conceitos prévios que serão utilizados ao longo do nosso curso de Física.



ATENÇÃO  
DECORE!



## 1.1. Noções de algarismos significativos

Para entendermos o conceito de Algarismos Significativos, vamos pegar um exemplo de medida. Suponha que uma pessoa tenha uma régua graduada em milímetros, isto é, sua menor subdivisão corresponde a um milímetro.



Figura 3: Figura ilustrativa para representar uma régua milimetrada.

Vamos usar esta régua para medir o tamanho de uma pequena haste rígida, posicionando uma das extremidades da barra na origem da régua. Em seguida, uma pessoa realiza a medida.

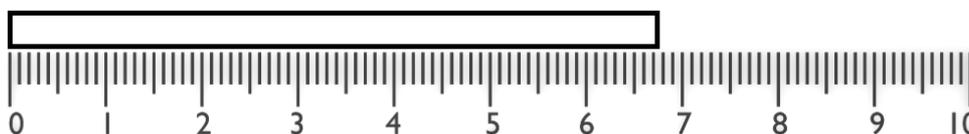


Figura 4: Régua milimetrada utilizada para medir uma haste metálica.

Vamos supor que a pessoa apresentou o seguinte valor de medida:  $l = 6,7578823 \text{ cm}$ . De imediato, percebemos que esta régua não tem condições de fornecer uma medida com tamanha precisão. Diante disso, dizemos que nem todos os algarismos fornecidos são significativos, ou seja, alguns algarismos foram colocados sem critérios de medida e, por isso, não possuem qualquer significado no resultado.

De acordo com o instrumento de medida que a pessoa possui, podemos observar que ela tem condições apenas de avaliar até décimos de milímetros, pois a régua é graduada até milímetros e não dispõe de meios para garantir medidas na ordem de centésimos ou milésimos de milímetros.

Analisando a medida apresentada (vamos sempre analisar do algarismo da esquerda para a direita), notamos que o algarismo 6 está correto, pois ele indica a quantidade em centímetros, isto é, a haste possui 6 centímetros. O algarismo 7 corresponde a quantidade em milímetros, visivelmente, na régua, por isso, ele está correto também. Dessa forma, os números 6 e 7 são chamados de **significativos**.

O próximo algarismo corresponde aos décimos de milímetros e nossa régua não possui esta graduação. Dizemos que esse algarismo foi obtido de acordo com a avaliação visual da pessoa, por isso, chamamos de **algarismo duvidoso** (uma outra pessoa poderia indicar outro valor para este algarismo). Contudo, como o algarismo 5 é o **primeiro duvidoso**, ainda o consideramos **significativo**, isto é, o primeiro duvidoso também é significativo. Para os demais algarismos (7,8,8,2,3), a pessoa não possui recursos para avaliar com rigor a medição. Por isso, esses algarismos são chamados de **não significativos**.



Sendo assim, podemos dizer que a medida possui 3 algarismos significativos, com os dois primeiros algarismos corretos e o último (mais a direita) o primeiro duvidoso. Então, podemos enunciar que:

**Os algarismos significativos** são aqueles que certificamos estarem corretos, mais o primeiro duvidoso.

---

Concluimos, então, que a medida do comprimento da haste rígida é  $l = 6,75 \text{ cm}$ .

Se transformamos a unidade de medida de centímetros para metros, obtemos que  $l = 6,75 \text{ cm} = 0,0675 \text{ m}$ . Essa mudança alterou a quantidade de algarismos significativos? A resposta é **não**. Ao trocarmos a unidade de medida não alteramos a forma da medição (não mudamos o instrumento de medida). Dessa forma, os zeros à esquerda do 6 apenas posicionam a vírgula para a nova unidade de medida da haste. Portanto, podemos enunciar a seguinte regrinha:

Zeros à esquerda do primeiro algarismo diferente de zero não são algarismos significativos.

---

Vamos analisar agora um novo exemplo em que um estudante dispõe de uma balança graduada em décimos de quilograma e deseja realizar a medida da massa  $m$  de um objeto qualquer.



*Figura 5: Figura ilustrativa para mostrar a importância dos zeros a direita em algarismos significativos.*

Primeiramente, certificamos que o número 0 está correto e o mesmo ocorre com relação ao 6 (medição seria 0,6... kg). O primeiro algarismo duvidoso seria o 0 (primeiro duvidoso também é significativo), mas 0 é ou não é significativo? Zeros à esquerda do primeiro algarismo diferente de zero não são significativos, entretanto, zeros à direita são.

Dessa conclusão, podemos enunciar outra regrinha:



Zeros à **direita** do primeiro algarismo diferente de zero **são algarismos significativos**, respeitando as definições apresentadas.

### 1.1.1. Operações matemáticas com algarismos significativos

Após ter feito medições e respeitadas as regras de algarismos significativos, fatalmente você fará operações para manipular seus dados e, para isso, terá que levar em conta algumas regrinhas para apresentar o resultado dos cálculos:

- **Adição e subtração:** nessas operações devemos deixar a resposta com o menor número de casas decimais. Exemplo de adição: somar 2,4 cm (1 casa decimal) com 3,18 cm (2 casas decimais):

$$\begin{array}{r} + 2,4 \\ + 3,18 \\ \hline 5,58 \end{array}$$

Para escrevermos o resultado, devemos deixar o valor obtido com apenas uma casa decimal (menor número de casas) e como o terceiro algarismo é 8 ( $8 > 5$ ), devemos arredondar o primeiro algarismo a esquerda do 8 para cima, isto é, ajustar 5 para 6. Portanto, obtemos 5,6 cm. Exemplo de subtração: subtrair 1,14 km (2 casas decimais) de 6,573 km (3 casas decimais):

$$\begin{array}{r} - 6,573 \\ - 1,14 \\ \hline 5,433 \end{array}$$

Novamente, antes de expressarmos o resultado, devemos deixar o valor obtido com duas casas decimais e manter a segunda casa decimal igual a 3, pois, o último algarismo é 3 ( $3 < 5$ ). Assim, obtemos 5,43 km.

- **Multiplicação e divisão:** convencionamos deixar o resultado com o mesmo número de algarismos significativos do fator que tiver menos significativos, podendo tolerar até 1 a mais. Exemplo de multiplicação: Calcule a área do retângulo cujas medidas são 4,8 m e 6,903 m. Notamos que 4,8 possui 2 algarismos significativos e 6,903 possui 4 algarismos significativos. Portanto, nosso resultado pode ter 2 ou 3 significativos:

$$4,8 \times 6,903 = 33,1344 \text{ m}^2$$

Assim, obtemos  $33 \text{ m}^2$ . Tolerar-se 1 algarismo significativo a mais e o segundo decimal é o número 3 ( $3 < 5$ ). Portanto, chegamos ao resultado  $33,1 \text{ m}^2$ .

Exemplo de divisão: determine o comprimento de um terreno retangular onde a área é  $500 \text{ m}^2$  e largura é 15,3 m. Note que 500 e 15,3 possuem 3 algarismos significativos. Assim, devemos deixar o resultado também com 3 algarismos significativos:

$$500 \div 15,3 = 32,679739 \text{ m}$$

Dessa forma, obtemos 32 m, arredondando 6 para 7, pois  $7 > 5$ , concluímos que o comprimento será 32,7 m.



## 1.2. Notação científica

Para se escrever o valor numérico em trabalhos científicos utilizamos a notação científica. Para isso, utilizamos a potência de dez, tomando o cuidado de conservar à esquerda da vírgula com apenas um dígito diferente de zero.

Exemplos:

Número	Notação científica	Número de Algarismos significativos
150	$1,50 \cdot 10^2$	3
52,34	$5,234 \cdot 10^1$	4
0,00760	$7,6 \cdot 10^{-3}$	3
1,0502	$1,0502 \cdot 10^0$	5

Quando utilizamos a notação científica, temos uma rápida visualização da grandeza (a potência de 10) e do número de algarismos significativos. Além disso, a facilidade de trabalhar matematicamente com esses valores tornam muito útil a representação por notação científica.

Podemos escrever o valor de uma grandeza física na forma:

$$x \cdot 10^n, \text{ onde } 1 \leq x < 10 \text{ e } n \in \mathbb{R}$$

Por exemplo, o raio da Terra é próximo de 6371 km. Em notificação científica escrevemos que  $6371 \text{ km} \Rightarrow 6,371 \cdot 10^3 \text{ km} = 6,371 \cdot 10^6 \text{ m}$ . Outros exemplos conhecidos é a massa do elétron,  $9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$  e a carga elementar  $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

## 1.3. Ordem de grandeza

Em muitas ocasiões é necessário estimar o valor de uma certa grandeza, ainda não seja seu valor real. Para isso, buscamos estimar o valor mais próximo da grandeza, utilizando potências de 10.

Por exemplo, quanto é a ordem de grandeza de um homem que possui 1,80 metros de altura em centímetros? Quando transformamos a altura em centímetros, temos que  $1,80 \text{ m} \equiv 180 \text{ cm}$ . Assim, a potência de 10 mais próxima seria  $10^2$ . Logo, a ordem de grandeza (OG) é de  $10^2 \text{ (cm)}$ .

De um modo geral, utilizamos a seguinte regra para determinar a ordem de grandeza, a partir da notação científica:

$$x \cdot 10^n, \text{ onde } 1 \leq x < 10, n \in \mathbb{R}$$



Então:

$$x < 3,16 \Rightarrow OG = 10^n$$

$$x \geq 3,16 \Rightarrow 10^{n+1}$$

Note que podemos determinar a ordem de grandeza do homem do nosso exemplo da seguinte forma:

$$1,80 \text{ m} \equiv 1,80 \cdot 10^2 \text{ cm} \Rightarrow 1,80 < 3,16 \Rightarrow OG = 10^2 \text{ (cm)}.$$

O fato do marco divisório entre as potências de 10 ser o número  $\sqrt{10} \cong 3,16$  vem do fato dele ser ponto médio entre os expoentes das potências de 10:

$$10^0 \quad 10^{1/2} \quad 10^1$$

Tirando a média geométrica dos extremos possíveis valores para a notação científica:

$$\sqrt{1 \cdot 10} = \sqrt{10} \cong 3,16$$



## 1.4. Vetores

Como vimos anteriormente, podemos dividir as grandezas físicas em escalares e vetoriais. As grandezas escalares necessitam apenas da sua magnitude e sua unidade de medida para estarem definidas. Por outro lado, as grandezas vetoriais precisam de mais informações.

Por exemplo, quando estamos perdidos e pedimos informação para alguém. Se a pessoa disser apenas que você está a alguns quilômetros do seu destino, isso não é o suficiente para você chegar até lá. A primeira pergunta que você fará para o informante é: para qual direção? E qual sentido?

O estudo dos vetores é fundamental para a melhor compreensão das grandezas físicas. Algumas definições são feitas diretamente por produto escalar ou produto vetorial, por exemplo. Por isso, vamos estudar o que são vetores e os principais cálculos utilizados na Física. No seu primeiro ano no ITA, você terá um curso mais aprofundado e fundamentado, com todas as demonstrações e conceitos do Cálculo Vetorial. Para o nosso curso, estudaremos e mostraremos somente aquilo que for útil para sua aprovação.

### 1.4.1. Definições básicas dos vetores

Vetor é um ente matemático determinado por segmentos orientados caracterizados por: módulo, direção e sentido. Para representá-lo no espaço, precisamos definir um comprimento proporcional ao seu módulo (sempre um número real positivo). Normalmente, indicamos um vetor por uma letra com uma flecha em cima:  $\vec{a}, \vec{b}, \vec{u}, \vec{V}$  etc. Em textos impressos, os vetores podem ser denotados também por negrito:  $\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{u}, \mathbf{V}$  etc. Para se referir apenas ao módulo do vetor, denotamos por  $|\vec{a}|$  ou simplesmente  $a$  (sem negrito), como mostrado na figura abaixo:

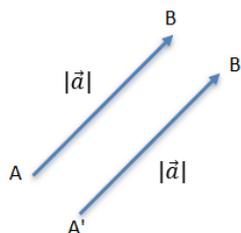


Figura 6: Representação geométrica de dois vetores.

Assim, verificamos que os segmentos  $\overrightarrow{AB}$  e  $\overrightarrow{A'B'}$  estão em direções orientadas paralelas entre si, com mesmo sentido, e os comprimentos destes segmentos de retas são iguais. Diante disso, podemos afirmar a condição de igualdade entre dois vetores:

Dois vetores são iguais entre si quando possuem mesmo módulo, mesma direção e mesmo sentido.

Assim, podemos dizer que:  $\overrightarrow{AB} = \overrightarrow{A'B'} = \vec{a}$ . Portanto,  $\vec{a}$  é o vetor que os dois segmentos de reta representam.

### 1.4.2. Operações matemáticas com vetores

Semelhante a álgebra dos números, é possível realizar diversas operações com vetores. Nós estudaremos aquelas mais usais em física. Para realizar essas operações, é necessário tomar alguns cuidados, pois, diferente dos números, existem regras próprias.

Algumas operações abordadas neste curso:

1. Adição de vetores;
2. Multiplicação de vetor por escalar;
3. Subtração de vetores;
4. Produto escalar;
5. Produto vetorial.

### 1.4.3. Adição de vetores

Para somar dois vetores, vamos introduzir a ideia através de um exemplo. Suponha que um jovem atleta deseje correr em uma praça em formato de um triângulo retângulo conforme a figura abaixo. Ele sai do ponto A em direção ao ponto B, em seguida para o ponto C.

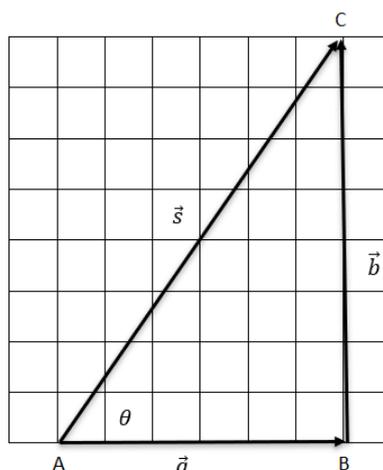


Figura 7: Imagem representativa de uma praça para efeitos didáticos.

A praça possui as seguintes dimensões:  $AB = 60\text{ m}$ ,  $BC = 80\text{ m}$  e  $AC = 100\text{ m}$ . Indicamos por  $\vec{a}$  o vetor deslocamento no trecho  $\overline{AB}$ , por  $\vec{b}$  o vetor deslocamento no trecho  $\overline{BC}$  e por  $\vec{s}$  o deslocamento resultante. Matematicamente, dizemos que:

$$\vec{s} = \vec{a} + \vec{b}$$

Observe que, em módulos,  $s \neq a + b$ , isto é, o tamanho do vetor  $\vec{s}$  é diferente da soma dos módulos de  $\vec{a}$  e  $\vec{b}$ . Para encontrar o módulo do vetor resultante, dados que  $\vec{a}$  e  $\vec{b}$  são perpendiculares entre si, utilizaremos sempre o teorema de Pitágoras:

$$s^2 = a^2 + b^2$$

$$s^2 = 60^2 + 80^2$$

$$s = 100\text{ m}$$

Tudo o que nós fizemos até aqui, é definir apenas o módulo do vetor  $\vec{s}$ . Para definir completamente o vetor, precisamos definir a direção, isto é, o ângulo  $\theta$  que o vetor faz com o segmento  $\overline{AB}$ . Este ângulo pode ser determinado por intermédio da tangente do ângulo  $\theta$ :

$$\text{tg}(\theta) = \frac{|\vec{b}|}{|\vec{a}|} = \frac{80}{60} = \frac{4}{3} \Rightarrow \theta = \text{arctg}\left(\frac{4}{3}\right) \approx 53,1^\circ$$

A partir desse exemplo, podemos ver que somar dois vetores não é simplesmente somar dois números. Somar vetores é uma operação geométrica.

Antes de caminharmos para as regras de adição de vetores, vamos trabalhar alguns casos especiais, onde os vetores estão em mesma direção:

- Vetores com mesma direção e mesmo sentido:

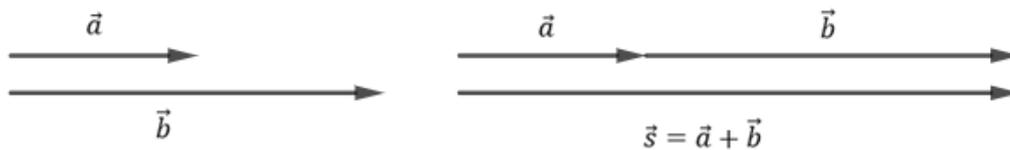


Figura 8: Soma de vetores mesma direção.

Dessa forma, ao somar 2 vetores que têm a mesma direção e sentido, o vetor resultante terá a mesma direção e sentido dos operandos e seu módulo será a soma dos módulos.

- Vetores com mesma direção e sentidos opostos:

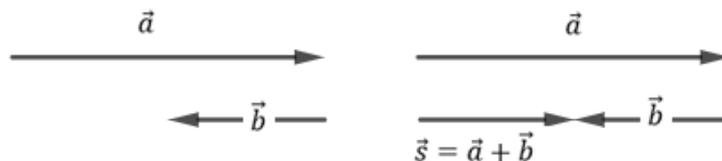


Figura 9: Soma de vetores direção oposta.

Assim, ao somarmos dois vetores que têm mesma direção e sentidos opostos, a direção do vetor resultante será a mesma dos vetores operandos, mas o sentido será determinado por aquele que tiver o maior módulo. O módulo do vetor resultante será dado pela diferença do maior módulo com o menor módulo.

Existem três métodos para somar vetores: regra do paralelogramo, regra do polígono e a decomposição de vetores.

#### 1.4.4. Regra do paralelogramo

Este método é utilizado para calcular a soma de dois vetores quando é conhecido o ângulo formado entre eles. Geralmente, quando usamos esse método utilizamos a lei dos cossenos para a determinação do vetor resultante.

Vamos recordar duas leis importantes da geometria plana para um triângulo qualquer:

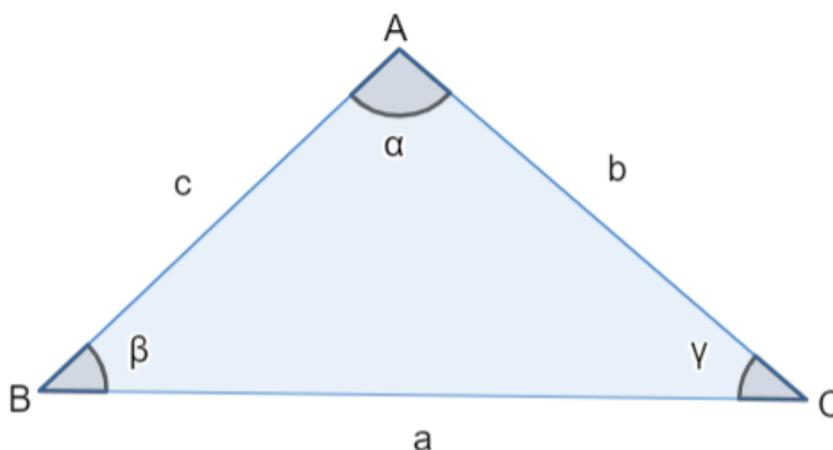


Figura 10: Triângulo qualquer.

- Lei dos senos:

$$\frac{a}{\operatorname{sen}\alpha} = \frac{b}{\operatorname{sen}\beta} = \frac{c}{\operatorname{sen}\gamma}$$

○ **Lei dos cossenos:**

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2 \cdot b \cdot c \cdot \cos\alpha$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2 \cdot a \cdot c \cdot \cos\beta$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos\gamma$$

Relembrado essas duas leis, vamos aplicar na regra do paralelogramo.

Primeiramente, colocamos os dois vetores com origem em comum (ponto O) e construímos um paralelogramo, fazendo linhas tracejadas paralelas aos vetores, passando pelas extremidades dos operandos. Em seguida, liga-se a origem dos vetores (ponto O) ao encontro das linhas tracejadas (ponto C), determinando o vetor resultante  $\vec{s} = \overrightarrow{OC}$ , conforme figura abaixo:

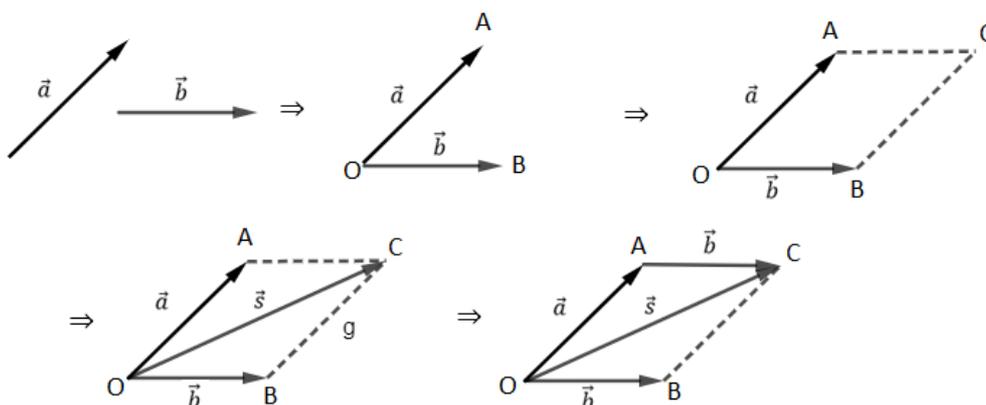


Figura 11: Processo de soma de vetores pela regra do paralelogramo.

Olhando para o paralelogramo abaixo, podemos aplicar a regra do paralelogramo, lembrando algumas propriedades da Geometria Plana e da Trigonometria:

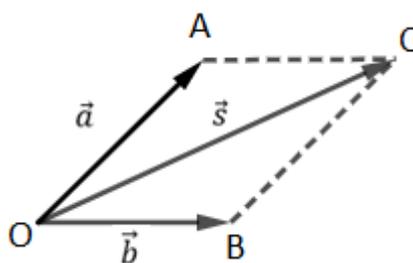


Figura 12: Vetor resultante.

No triângulo AOC, vamos chamar o ângulo  $O\hat{A}C$  de  $\alpha$  e o ângulo  $A\hat{O}B$  de  $\beta$  (ângulo entre os dois vetores). De acordo com a Geometria Plana,  $\alpha + \beta = 180^\circ \Rightarrow \beta = 180 - \alpha$ . Da Trigonometria, sabemos que  $\cos\beta = -\cos\alpha$ . Então, aplicando a lei dos cossenos para o triângulo AOC, temos:

$$s^2 = a^2 + b^2 - 2a \cdot b \cdot \cos\alpha \Rightarrow s^2 = a^2 + b^2 + 2 \cdot a \cdot b \cdot (-\cos\alpha)$$

$$\therefore \boxed{s^2 = a^2 + b^2 + 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos\beta}$$

Diante desse resultado, podemos criar um método para determinar o módulo do vetor soma. Aplicando os passos:

- 1) Coloca-se os vetores em origem comum;

- 2) Conhecemos o valor do ângulo formado pelos vetores que queremos somar;
- 3) Cumpridos os passos 1 e 2, aplicamos a fórmula anterior e encontramos o vetor desejado.

Esse método se limita a soma de dois vetores apenas. Para somar mais vetores, precisaríamos aplicar a regra do paralelogramo para dois vetores, a partir do resultante aplicar novamente a regra e assim sucessivamente. Isso torna o método nada usual para o caso da soma de  $n$  vetores. Então, veremos uma regra mais útil para esse tipo de problema: regra do polígono.

### 1.4.5. Regra do polígono

Vamos pegar 4 vetores distintos, de acordo com a figura abaixo:

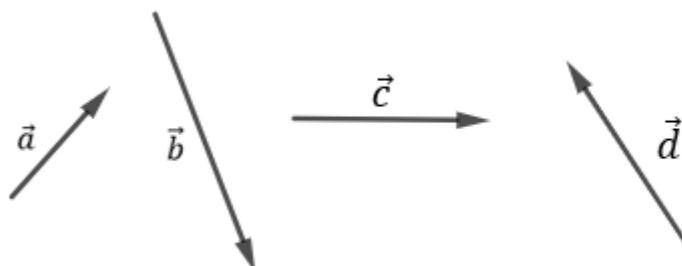


Figura 13: Vetores a serem somados pela regra do polígono.

O vetor resultante pode ser obtido da seguinte forma:

- 1) Escolhe um vetor para ser o “vetor origem” (escolhemos o vetor  $\vec{a}$ ). A partir dele, escolha qualquer um (escolhemos o vetor  $\vec{d}$ ) e coloque a origem do vetor escolhido na extremidade do “vetor origem”;
- 2) Em seguida, escolha qualquer um dos vetores que sobrou e coloque a origem na extremidade do vetor anterior ( $\vec{d}$ ) e assim, até que todos os vetores estejam colocados em ordem, a origem na extremidade do anterior;
- 3) O vetor resultante está determinado ligando a origem do primeiro vetor à extremidade do último.

A figura abaixo ilustra nosso exemplo:

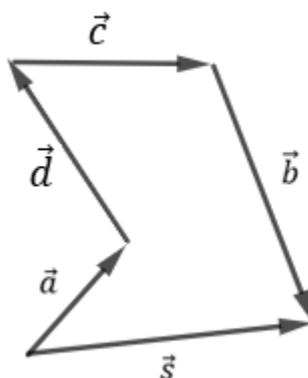


Figura 14: Vetor resultante utilizando a regra do polígono.

A forma como mostramos a regra do polígono ilustra as propriedades comutativa e associativa da soma de vetores. Essas propriedades serão demonstradas e trabalhadas nas matemáticas do primeiro ano do ITA.

Propriedades:

- Propriedade comutativa:  $\vec{u} + \vec{v} = \vec{v} + \vec{u}$ ;
- Propriedade associativa:  $(\vec{u} + \vec{v}) + \vec{w} = \vec{u} + (\vec{v} + \vec{w})$ .

Para nosso caso, queremos saber  $\vec{s} = \vec{a} + \vec{b} + \vec{c} + \vec{d}$  e pelas propriedades comutativa e associativa podemos escrever que:  $\vec{s} = \vec{a} + \vec{b} + \vec{c} + \vec{d} = \vec{a} + \vec{d} + \vec{c} + \vec{b}$ .

Com esse exemplo, vemos que não importa a ordem como escolhemos os vetores desde que sejam respeitadas as regras. Além disso, podemos ver que se efetuarmos a soma e a extremidade do último cair na origem do primeiro, teremos um polígono fechado dos vetores, de tal forma que a extremidade do vetor soma coincide com a própria origem. Então, o vetor resultante será o vetor nulo ( $\vec{0}$ ).

### 1.4.6. Decomposição de vetores

Este método é muito importante na Física, pois podemos descrever diversas grandezas vetoriais em sistemas de coordenadas  $xyz$  (problemas em 3 dimensões) ou  $xy$  (problemas em 2 dimensões) para resolver questões. É comum colocar as variáveis em um mesmo eixo para resolver os problemas.

Pegamos um vetor  $\vec{F}$  qualquer (pode ser uma força, por exemplo). Pela regra do paralelogramo, podemos dizer que é a soma de outros dois vetores, por exemplo:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

Neste momento, é interessante observar que para melhorar as contas é interessante escolher um paralelogramo que possua propriedades que facilitam nossas contas, paralelogramos com ângulos interessantes. Da matemática sabemos que um retângulo é um tipo de paralelogramo com ângulos de  $90^\circ$  e isto facilita muito as contas. Então, o melhor caminho é escolher vetores que sejam ortogonais, isto é, formam um ângulo de  $90^\circ$  quando colocadas as origens em comum. Uma vez que os vetores podem ser ortogonais, podemos usar os sistemas de eixos coordenadas para auxiliar.

Dessa forma, podemos escrever  $\vec{F}$  como a soma de um vetor no eixo  $x$  ( $\vec{F}_x$ ) e outro vetor no eixo  $y$  ( $\vec{F}_y$ ). Assim, temos que:

$$\vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F}_y$$

Podemos representar da seguinte forma:

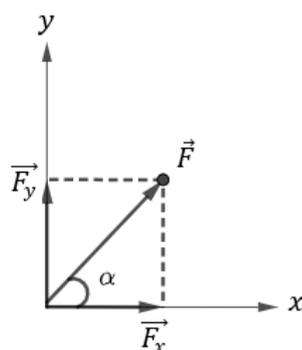


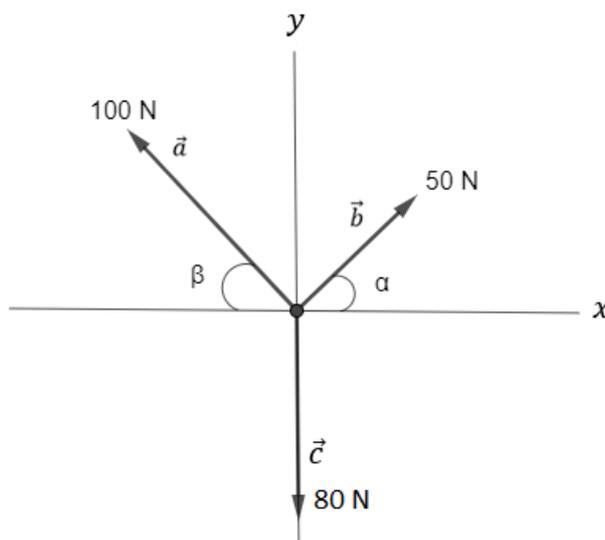
Figura 15: Decomposição de vetores no plano  $xy$ .

Esses vetores  $\vec{F}_x$  e  $\vec{F}_y$  são chamados de projeções do vetor  $\vec{F}$  nos eixos  $x$  e  $y$ , respectivamente. Pela geometria, podemos dizer que:

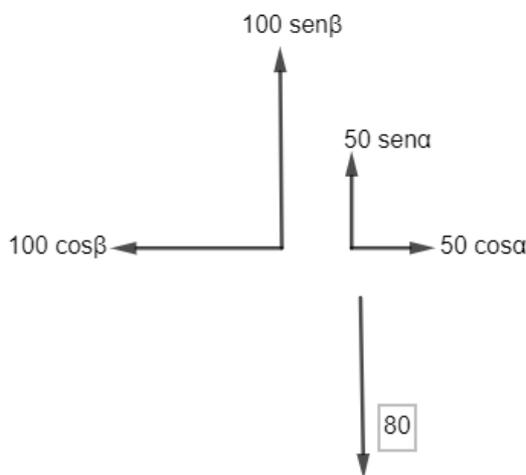
$$\begin{cases} \cos\alpha = \frac{F_x}{F} \Rightarrow F_x = F \cdot \cos\alpha \\ \text{sen}\alpha = \frac{F_y}{F} \Rightarrow F_y = F \cdot \text{sen}\alpha \\ F^2 = F_x^2 + F_y^2 \end{cases}$$

Por esse método, se temos vários vetores a serem somados, basta colocar todos na mesma origem e os projetar nos eixos  $x$  e  $y$ . Em seguida, efetua-se a soma de acordo com as regras de adição em mesma direção, obtendo um vetor resultante em cada eixo. Para concluir, basta usar a regra do paralelogramo para esses dois vetores restantes para obter o vetor soma desejado. Como os eixos são sempre ortogonais, vamos sempre recair em dois vetores ortogonais, com fácil aplicação do teorema de Pitágoras para o vetor desejado.

Exemplo: determine o vetor soma  $\vec{s}$  entre os vetores dados  $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$ ,  $\vec{c}$ . Dado que  $\cos\alpha = 0,6$  e  $\text{sen}\beta = 0,8$ .



Primeiramente, iremos decompor cada vetor nos eixos  $x$  e  $y$ .



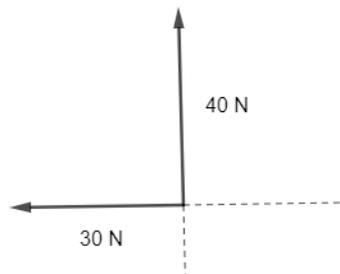
Assim, temos que:

$$\begin{cases} a_x = 100\cos\beta = 60 \text{ N e } a_y = 100\sin\beta = 80 \text{ N} \\ b_x = 50\cos\alpha = 30 \text{ N e } b_y = 50\sin\alpha = 40 \text{ N} \\ c_x = 0 \text{ e } c_y = 80 \text{ N} \end{cases}$$

Portanto, temos os seguintes vetores resultantes para cada eixo:

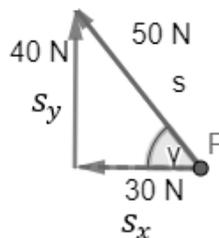
$$\begin{cases} s_x = a_x - b_x = 60 - 30 = 30 \text{ N} \\ s_y = a_y + b_y - c_y = 80 + 40 - 80 = 40 \text{ N} \end{cases}$$

Assim, reduzimos nossos vetores aos resultantes em cada eixo:



$$s^2 = s_x^2 + s_y^2 = 30^2 + 40^2 = 2500 \Rightarrow s = 50 \text{ N}$$

Para finalizar, devemos determinar sua direção e sentido para que o vetor fique completamente definido, como na figura abaixo:



$$\text{Logo: } \text{tg}\gamma = \frac{40}{30} = \frac{4}{3} \Rightarrow \gamma = \text{arctg}\left(\frac{4}{3}\right) \Rightarrow \gamma \approx 53,1^\circ$$

Com este exemplo, concluímos que qualquer vetor pode ser projetado em eixos ortogonais entre si. Dado um sistema coordenado no  $R^3$  ( $x, y, z$ ), conforme figura abaixo, podemos decompor o vetor  $\vec{a}$  nos três eixos:

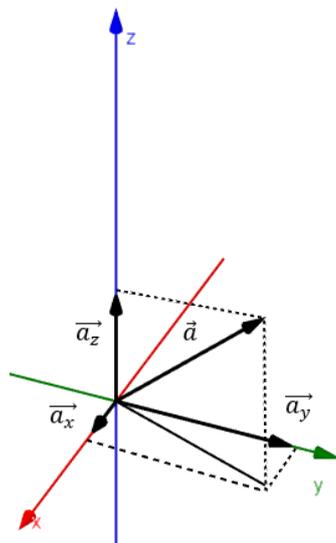


Figura 16: Representação de um vetor no espaço.

Nesse caso, escrevemos que:  $\vec{a} = \vec{a}_x + \vec{a}_y + \vec{a}_z$  ou pela outra representação  $\vec{a} = (a_x, a_y, a_z)$ , com  $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$ .

Assim, representar um vetor por suas componentes torna a operação de soma muito mais simplificada, pois, para somar dois vetores, basta somar as partes:

$$\begin{cases} \vec{a} = (a_x, a_y, a_z) \\ \vec{b} = (b_x, b_y, b_z) \\ \vec{r} = (r_x, r_y, r_z) \end{cases} \Rightarrow \vec{r} = \vec{a} + \vec{b} \therefore \begin{cases} r_x = a_x + b_x \\ r_y = a_y + b_y \\ r_z = a_z + b_z \end{cases}$$

Essa notação, simplificará nossas vidas futuramente. É comum aparecer questões no  $R^3$  no vestibular do ITA e, ter noção espacial, ajuda bastante na prova.

### 1.4.7. Multiplicação por um escalar

Outra operação muito comum e importante no universo dos vetores é a multiplicação de um vetor por um escalar. Podemos denotar essa operação da seguinte forma:

$$\vec{b} = n \cdot \vec{a}$$

Onde  $n$  é um número real qualquer,  $\vec{b}$  é o vetor obtido ao multiplicar o vetor  $\vec{a}$  pelo escalar  $n$ . Como resultado dessa definição, podemos notar que:

1)  $|\vec{b}| = |n \cdot \vec{a}| \Rightarrow |\vec{b}| = |n| \cdot |\vec{a}|$ , isto é, o módulo do vetor obtido é o produto do módulo do escalar pelo módulo do vetor multiplicado. Multiplicar pelo escalar é alterar o tamanho do vetor. Ao efetuar essa operação existem dois possíveis tipos de mudança no modulo:

- 1)  $|n| > 1 \Rightarrow |\vec{b}| > |\vec{a}|$ ;
- 2)  $0 \leq |n| \leq 1 \Rightarrow |\vec{b}| \leq |\vec{a}|$ ;

2)  $\vec{b}$  tem a mesma direção de  $\vec{a}$ ;

3) o sentido de  $\vec{b}$  é o mesmo de  $\vec{a}$  quando  $n > 0$  e o sentido de  $\vec{b}$  é o contrário de  $\vec{a}$  quando  $n < 0$ . Se  $n = 0$ , obtemos como resultado o vetor nulo, representado por  $\vec{0}$ .

Quando o vetor representado na forma  $\vec{a} = (a_x, a_y, a_z)$ , então o valor de  $\vec{b} = n \cdot \vec{a}$  é dado por  $\vec{b} = (na_x, na_y, na_z)$ ;

4) Para o caso de  $n = -1$ , o vetor obtido recebe o nome de **vetor oposto**, pois como para os números, o oposto é um número que somado ao próprio número dá como resultado zero. Por exemplo, o oposto de 10 é -10, pois  $10 + (-10) = 0$ . Como visto no item anterior, ao multiplicar por um número negativo, troca-se o sentido do vetor. Dessa forma, o vetor oposto a  $\vec{b}$  é o vetor  $-\vec{b}$ , pois, teremos que:  $\vec{b} + (-\vec{b}) = \vec{0}$ .

Neste momento, podemos falar de um vetor muito importante para representações físicas, com uma aplicação que facilita muito nossa vida.





### 1.4.8. Vetores unitários ( $\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$ )

Vetor unitário (as vezes chamado de versor) é aquele cujo módulo é igual a 1.

Existem dois vetores unitários que formam a base canônica, no  $\mathbb{R}^2((x, y))$ , que são dados por:

$$\vec{i} = (1,0) \text{ e } \vec{j} = (0,1)$$

Observação: A teoria de espaço vetorial e base canônica será abordado nos cursos de Cálculo Vetorial no primeiro ano do ITA, apenas saiba que existe esse termo. Preliminarmente, essa base mostra que todos os vetores do espaço vetorial podem ser escritos a partir dela.

Para o  $\mathbb{R}^3$ , temos a seguinte base canônica:

$$\vec{i} = \hat{i} = (1,0,0), \vec{j} = \hat{j} = (0,1,0) \text{ e } \vec{k} = \hat{k} = (0,0,1)$$

Para construir um vetor unitário  $\vec{u}$  que tenha a mesma direção e o mesmo sentido que o vetor  $\vec{a}$ , devemos dividir o vetor  $\vec{a}$  pelo seu módulo:

$$\vec{u} = \frac{\vec{a}}{|\vec{a}|} \text{ ou } \hat{u} = \frac{\vec{a}}{|\vec{a}|}$$

### 1.4.9. Decomposição de vetores em vetores unitários

Para facilitar nossas contas, podemos decompor os vetores em vetores unitários em cada um dos planos apresentados. Vamos fazer para o  $\mathbb{R}^2$ , mas para o  $\mathbb{R}^3$  ocorre de forma análoga. Tomemos um vetor no  $\mathbb{R}^2$ .

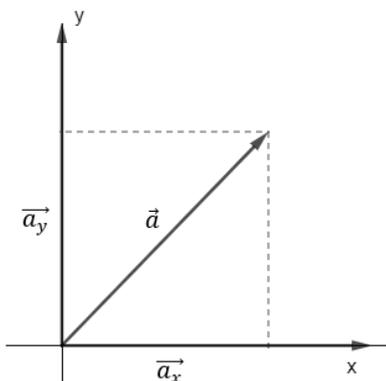


Figura 17: Vetor unitário decomposto no plano  $xy$ .

Por convenção, simbolizamos os vetores unitários com um “chapéu”:  $\hat{i}$  vetor unitário do eixo  $x$  e  $\hat{j}$  vetor unitário do eixo  $y$ .

Dessa forma, podemos dizer que  $\hat{i} = \frac{\vec{a}_x}{|\vec{a}_x|}$ , isto é,  $\vec{a}_x = |\vec{a}_x| \cdot \hat{i}$ . Então, podemos escrever a projeção em um eixo como sendo o produto do vetor unitário daquele eixo pelo módulo da projeção.

Assim, temos que:  $\vec{a} = (a_x \cdot \hat{i}, a_y \cdot \hat{j})$

Caso o vetor  $\vec{a}$  estivesse sendo trabalhado no  $R^3$ , teríamos que:  $\vec{a} = (a_x \cdot \hat{i}, a_y \cdot \hat{j}, a_z \cdot \hat{k})$ . Caso o vetor não esteja na origem, podemos escrevê-lo da seguinte forma:

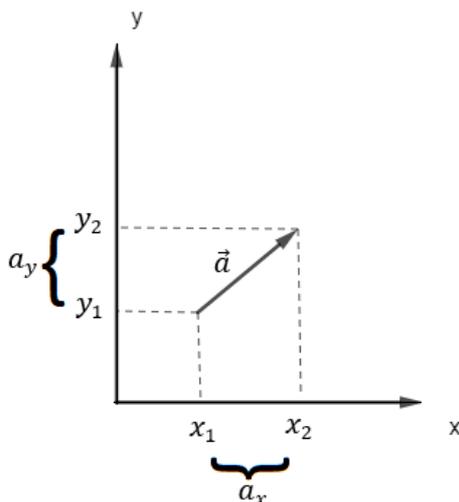


Figura 18: Representação de um vetor em função dos vetores unitários.

Assim, podemos escrever o vetor da seguinte forma:

$$\vec{a} = ((x_2 - x_1) \cdot \hat{i}, (y_2 - y_1) \cdot \hat{j})$$

#### 1.4.10. Subtração de vetores

Para efetuar a subtração de vetores basta pensarmos que a subtração é um caso particular da adição devido a existência do elemento oposto. Assim, podemos fazer:

$$\vec{d} = \vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + (-\vec{b})$$

Em outras palavras para fazer a subtração basta somar o primeiro com o oposto do segundo. Geometricamente podemos ver a operação:

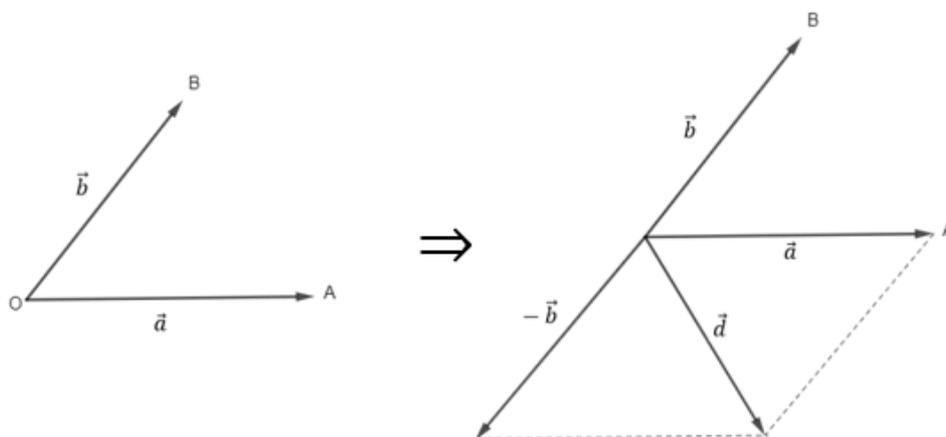


Figura 19: Figura ilustrativa do processo de subtração de vetores.

Analisando a figura acima, podemos criar um método para efetuar a subtração geometricamente. Inicialmente, colocamos os dois vetores em origem comum e traçamos o vetor diferença ligando a extremidade do segundo termo da subtração ( $\vec{b}$ ) à extremidade do primeiro termo ( $\vec{a}$ ), **sempre nessa ordem**, como indicado na figura abaixo:

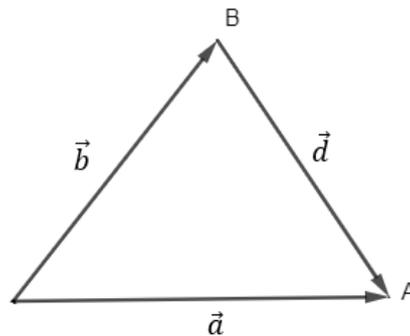


Figura 20: Vetor resultante da subtração.

Algebricamente, podemos determinar que o módulo do vetor diferença será obtido pela lei dos cossenos, desde que conhecido o ângulo entre os vetores:

$$d^2 = a^2 + b^2 - 2a \cdot b \cdot \cos\theta \Rightarrow \boxed{d = \sqrt{a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos\theta}}$$

Note que existe uma **pequena diferença** no sinal da expressão do módulo do vetor diferença e a expressão do módulo do vetor soma. Este fato ocorre simplesmente por causa da geometria diferente dos dois problemas.

Quando o vetor é escrito em função das suas componentes, o vetor diferença é obtido de forma mais simples. Vamos mostrar para vetores no  $R^3$ :

$$\begin{cases} \vec{a} = (a_x, a_y, a_z) \\ \vec{b} = (b_x, b_y, b_z) \\ \vec{d} = (d_x, d_y, d_z) \end{cases} \Rightarrow \vec{d} = \vec{a} - \vec{b} \Rightarrow \begin{cases} d_x = a_x - b_x \\ d_y = a_y - b_y \\ d_z = a_z - b_z \end{cases}$$

Essas são as operações mais comuns na matemática dos vetores. Entretanto, existem duas operações, não tão trabalhadas em cursos comuns, mas elas têm grande importância na Física. Vamos definir os dois tipos de produtos entre vetores. Diversas grandezas físicas são definidas utilizando essas operações.



### 1.4.11. Produto escalar

Define-se produto escalar entre  $\vec{a}$  e  $\vec{b}$ , denota-se por  $\vec{a} \cdot \vec{b}$  (lê-se “a escalar b”), a grandeza escalar cujo valor numérico é obtido multiplicando os módulos dos dois vetores operandos e o cosseno do ângulo formado entre eles. Isto é:

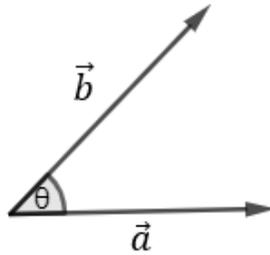


Figura 21. Produto escalar de dois vetores.

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

Primeiramente, é muito importante notar que essa operação resulta em um valor numérico. Fisicamente, esse produto entre duas grandezas vetoriais resulta em uma grandeza escalar. Alguns exemplos de grandezas escalares são: o trabalho de uma força, o potencial elétrico, fluxo do campo elétrico, fluxo do campo magnético etc.

Diante disso, precisamos saber trabalhar bem com produto escalar e, para isso, vamos trabalhar com algumas propriedades:



---

### Propriedades do Produto Escalar

---

**P1)  $\vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{b} \cdot \vec{a}$  (comutativa);**

**P2)  $\vec{a} \cdot (\vec{b} + \vec{c}) = \vec{a} \cdot \vec{b} + \vec{a} \cdot \vec{c}$  (distributiva);**

**P3)  $\vec{a} \cdot \vec{a} = |\vec{a}|^2$ ;**

**P4)  $(k\vec{a}) \cdot \vec{b} = \vec{a} \cdot (k\vec{b}) = k(\vec{a} \cdot \vec{b})$ ;**

**P5)  $|k\vec{a}| = |k| \cdot |\vec{a}|$ ;**

**P6) Desigualdade de Cauchy-Schwarz:  $|\vec{a} \cdot \vec{b}| \leq |\vec{a}| |\vec{b}|$ . Essa ocorre imediatamente da definição, pois,  $|\cos\theta| \leq 1$ ;**

**P7) Desigualdade Triangular:  $|\vec{a} + \vec{b}| \leq |\vec{a}| + |\vec{b}|$ .**

---

Vamos fazer a demonstração dessa propriedade devido a sua utilidade:

**Demonstração:**

Inicialmente vamos fazer  $|\vec{a} + \vec{b}|^2 = (\vec{a} + \vec{b}) \cdot (\vec{a} + \vec{b})$  (pela propriedade P3);

Em seguida, aplicando P4, temos que:

$$|\vec{a} + \vec{b}|^2 = (\vec{a} + \vec{b}) \cdot (\vec{a} + \vec{b}) = \vec{a} \cdot \vec{a} + 2\vec{a} \cdot \vec{b} + \vec{b} \cdot \vec{b};$$

Aplicando-se novamente a propriedade P3, temos que:

$$|\vec{a} + \vec{b}|^2 = \vec{a} \cdot \vec{a} + 2\vec{a} \cdot \vec{b} + \vec{b} \cdot \vec{b} = |\vec{a}|^2 + 2\vec{a} \cdot \vec{b} + |\vec{b}|^2;$$

Como  $\vec{a} \cdot \vec{b} \leq |\vec{a} \cdot \vec{b}|$  (isto é, um número real é sempre menor ou igual ao seu módulo) e considerando a desigualdade de Cauchy-Schwarz, temos que:

$$\begin{aligned} |\vec{a} + \vec{b}|^2 &= |\vec{a}|^2 + 2\vec{a} \cdot \vec{b} + |\vec{b}|^2 \leq |\vec{a}|^2 + 2|\vec{a} \cdot \vec{b}| + |\vec{b}|^2 = (|\vec{a}| + |\vec{b}|)^2 \\ \therefore |\vec{a} + \vec{b}| &\leq |\vec{a}| + |\vec{b}| \end{aligned}$$

A igualdade nessa inequação verifica-se quando  $|\cos\theta| = 1$ . Em outras palavras, quando os vetores forem paralelos.

Pela definição, é imediato que se o produto escalar de dois vetores ( $\vec{a} \neq 0$  e  $\vec{b} \neq 0$ , com ângulo  $\theta$  entre eles) é nulo, os vetores são perpendiculares:

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = 0 \Rightarrow |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \cos\theta = 0 \therefore \cos\theta = 0 \Rightarrow \theta = 90^\circ$$

É imediato também que se um dos vetores é nulo, o produto vetorial dele com qualquer outro será zero:

$$\vec{a} \cdot \vec{0} = \vec{0} \cdot \vec{a} = 0$$

Pode-se mostrar que para dois vetores escritos em função de suas componentes ( $\vec{a} = (a_x, a_y, a_z)$  e  $\vec{b} = (b_x, b_y, b_z)$ ), seu produto escalar será dado por:

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

Isto é, o produto escalar será dado pelo produto das componentes do mesmo eixo. Dessa forma, pela definição, podemos calcular o ângulo entre dois vetores a partir do produto escalar:

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

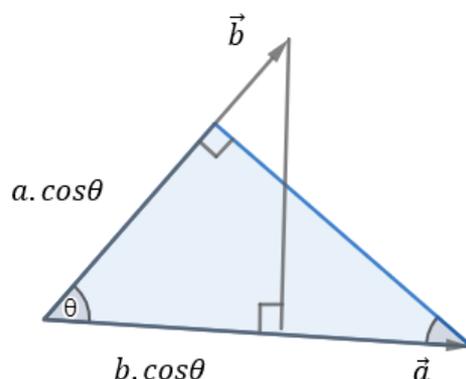


Figura 22: Representação geométrica dos vetores, para calcular o ângulo entre os vetores.



### 1.4.12. Produto vetorial

Define-se produto vetorial entre  $\vec{a}$  e  $\vec{b}$  - denota-se por  $\vec{a} \times \vec{b}$  (lê-se “a vetor b”) - a grandeza vetorial cujo resultado também é um vetor perpendicular ao plano dos vetores operandos.

Definição matemática: dados vetores  $\vec{a} = (a_x, a_y, a_z)$  e  $\vec{b} = (b_x, b_y, b_z)$  de  $\mathbb{R}^3$ , definimos produto vetorial entre  $\vec{a}$  e  $\vec{b}$  como:

$$\begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_y & a_z \\ b_y & b_z \end{vmatrix} \cdot \hat{i} - \begin{vmatrix} a_x & a_z \\ b_x & b_z \end{vmatrix} \cdot \hat{j} + \begin{vmatrix} a_x & a_y \\ b_x & b_y \end{vmatrix} \cdot \hat{k}$$

Em que:  $\hat{i} = (1,0,0)$ ,  $\hat{j} = (0,1,0)$  e  $\hat{k} = (0,0,1)$ .

Para determinar o sentido do vetor resultante, utilizamos a regra da mão direita envolvente. Inicialmente, posiciona-se a mão direita na origem comum aos dois vetores e rotaciona-se no sentido do primeiro vetor ( $\vec{a}$ ) para o segundo vetor ( $\vec{b}$ ). Então, o polegar da mão direita mostrará a direção do vetor resultante do produto vetorial  $\vec{a} \times \vec{b}$ , como na figura abaixo:

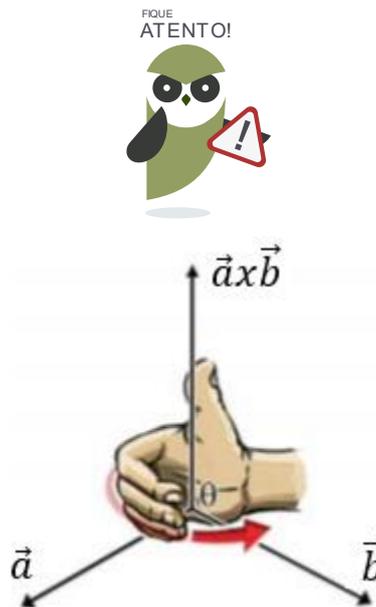


Figura 23: Regra da mão direita envolvente.

É fácil notar que para realizar a regra da mão direita deve-se preocupar com a ordem dos vetores, pois altera a direção do vetor resultante. Assim, podemos observar que:  $\vec{a} \times \vec{b} \neq \vec{b} \times \vec{a}$  (na verdade:  $\vec{a} \times \vec{b} = -\vec{b} \times \vec{a}$ ). Sendo assim, não podemos aplicar a propriedade comutativa para produtos vetoriais.

Para determinar o módulo do produto vetorial entre  $\vec{a}$  e  $\vec{b}$  usamos a expressão:

$$|\vec{a} \times \vec{b}| = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \text{sen}\theta$$

Ao longo do ano, estudaremos algumas grandezas físicas importantes que são definidas por um produto vetorial, tais como: velocidade angular, torque, força magnética que atua sobre uma carga puntiforme, entre outras.

Para melhorar nossos trabalhos com produto vetorial, vamos enumerar algumas propriedades:



---

### Propriedades do Produto Vetorial

---

**P1) O vetor  $\vec{a} \times \vec{b}$  é perpendicular ao plano dos vetores  $\vec{a}$  e  $\vec{b}$ ;**

---

**P2)  $\vec{a} \times (\vec{b} + \vec{c}) = \vec{a} \times \vec{b} + \vec{a} \times \vec{c}$  (distributiva);**

---

**P3)  $\vec{a} \times \vec{a} = \vec{0}$  (a prova é imediata uma vez que o ângulo entre os vetores operando é zero, e  $\text{sen}(0^\circ) = 0$ );**

---

**P4)  $\vec{a} \times \vec{b} = \vec{0}$  se, e somente se, os vetores  $\vec{a}$  e  $\vec{b}$  são paralelos, isto é,  $\vec{b} = n\vec{a}$ , onde  $n \in \mathbb{R}$ ;**

---

**P5)  $(n\vec{a}) \times \vec{b} = n(\vec{a} \times \vec{b})$ ,  $\forall n \in \mathbb{R}$ ;**

---

**P6) Dado um sistema de coordenadas  $xyz$ , temos que:  $\hat{x} \times \hat{y} = \hat{z}$ ;  $\hat{y} \times \hat{z} = \hat{x}$ ;  $\hat{z} \times \hat{x} = \hat{y}$**

---

Analisando geometricamente o módulo do produto vetorial entre  $\vec{a}$  e  $\vec{b}$ , pode-se interpretar que ele é numericamente igual à área do paralelogramo formado pelos vetores  $\vec{a}$  e  $\vec{b}$ , de acordo com a figura abaixo:

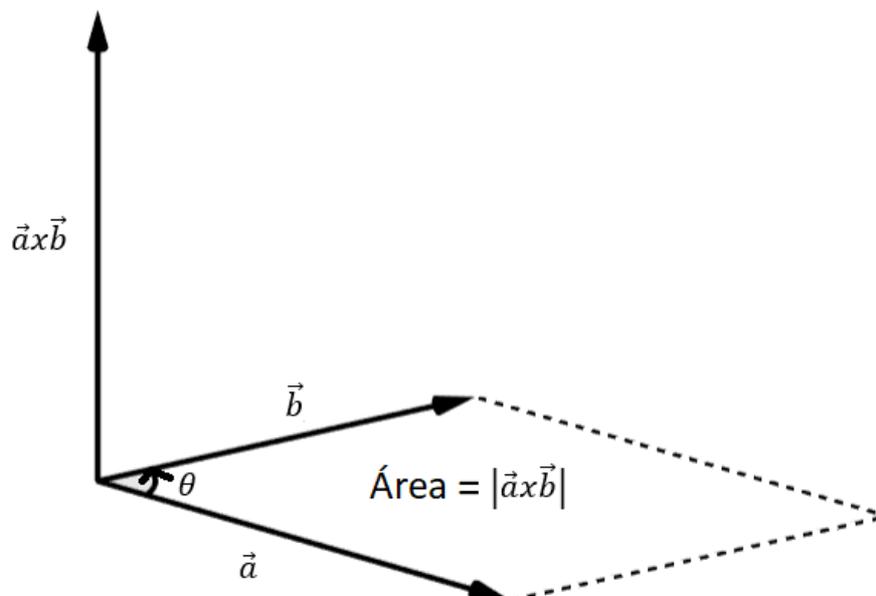


Figura 24: Representação geométrica do produto vetorial e a área do paralelogramo.

Dessa forma, sempre é possível associar uma área qualquer a um vetor. Esse conceito será usado algumas vezes ao longo do curso.

Durante o ano, trabalharemos com muitas equações vetoriais. Uma equação vetorial sempre nos mostra mais de uma informação, pois, a um vetor sempre está associado módulo, direção e sentido. Por isso, sempre teremos cuidados para resolver as equações, utilizando os métodos aprendidos aqui.

ESCLARECENDO!



1)

Determine a área do paralelogramo de vértices  $(0,0,0)$ ,  $(1,2,3)$  e  $(2,1,1)$ .

**Comentários:**

Para resolver esse problema, vamos calcular os dois vetores que definem os lados não paralelos do paralelogramo e calcular o produto vetorial desses dois vetores. Em seguida, calcularemos o módulo do vetor resultante, pois, sabemos que ele é o valor numérico da área do paralelogramo.

Cálculo dos vetores  $\vec{a}$  e  $\vec{b}$ :  $\vec{a} = (1 - 0, 2 - 0, 3 - 0) = (1, 2, 3)$  e  $\vec{b} = (2 - 0, 1 - 0, 1 - 0) = (2, 1, 1)$ .

Cálculo do produto vetorial  $\vec{a} \times \vec{b}$ :  $\vec{a} \times \vec{b} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 1 & 2 & 3 \\ 2 & 1 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 2 & 3 \\ 1 & 1 \end{vmatrix} \cdot \hat{i} - \begin{vmatrix} 1 & 3 \\ 2 & 1 \end{vmatrix} \cdot \hat{j} + \begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{vmatrix} \cdot \hat{k} \Rightarrow$

$\vec{a} \times \vec{b} = -1\hat{i} + 5\hat{j} - 3\hat{k}$ .

Módulo de  $\vec{a} \times \vec{b}$ :



$$|\vec{a} \times \vec{b}| = \sqrt{(-1)^2 + 5^2 + (-3)^2} = \sqrt{1 + 25 + 9} = \sqrt{35}$$

Dessa forma, a área do paralelogramo definido pelos pontos determinado é  $\sqrt{35}$ .

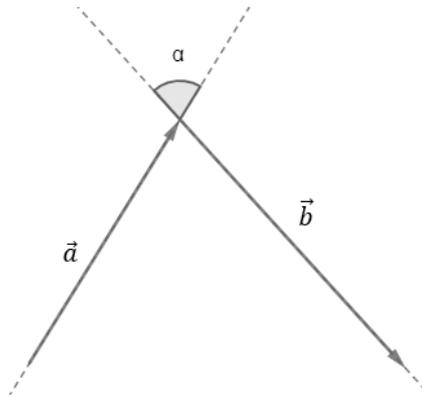




## 1.5. Lista de questões sobre vetores

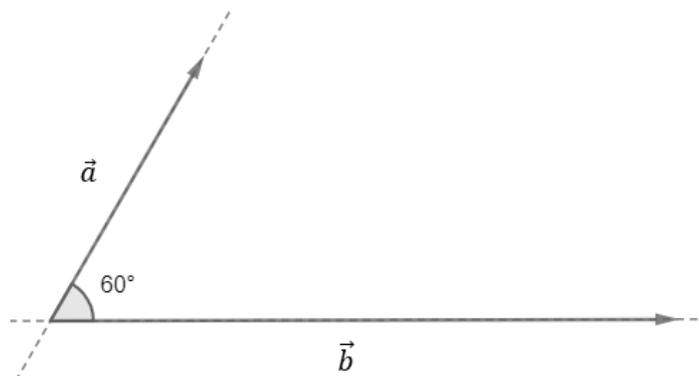
1.

Determine o módulo do vetor soma  $\vec{s} = \vec{a} + \vec{b}$ , dado que  $|\vec{a}| = 10$ ,  $|\vec{b}| = 16$  e  $\cos\alpha = 0,6$ .



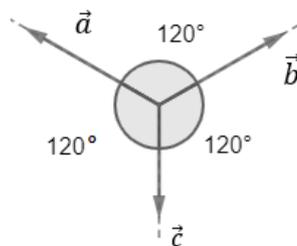
2.

Determine o módulo do vetor resultante sabendo que  $\vec{a}$  e  $\vec{b}$  são representados logo abaixo. Dados  $|\vec{a}| = 5$  e  $|\vec{b}| = 10$ .



3.

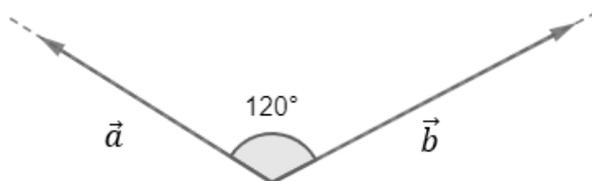
Determine o módulo da resultante  $\vec{s} = \vec{a} + \vec{b} + \vec{c}$ . Dados  $|\vec{a}| = |\vec{b}| = |\vec{c}| = 10$ .



4.

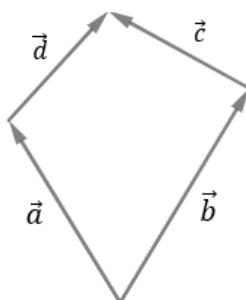
Para o conjunto de vetores da figura abaixo, determine o módulo do vetor diferença  $\vec{d} = \vec{a} - \vec{b}$ .

Dados:  $|\vec{a}| = 8$  e  $|\vec{b}| = 10$ .



5.

Qual das alternativas abaixo é uma relação verdadeira entre os vetores  $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$ ,  $\vec{c}$  e  $\vec{d}$ .



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

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

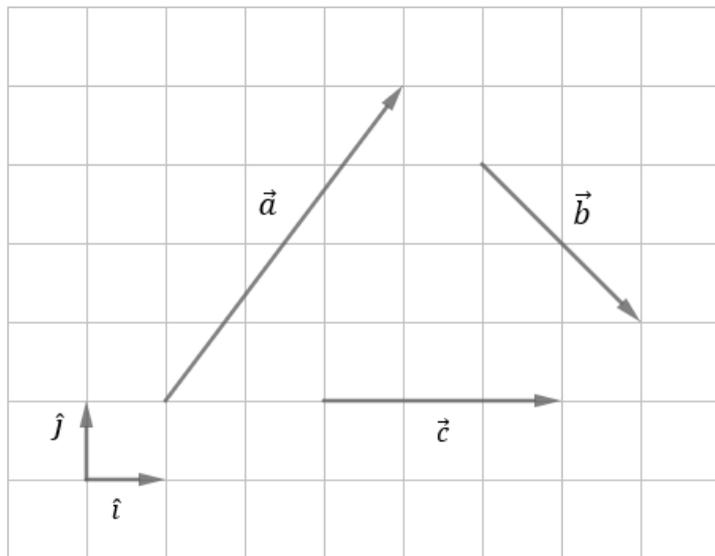
c)  $\vec{a} + \vec{d} = \vec{c} + \vec{b}$

d)  $\vec{a} + \vec{b} + \vec{c} + \vec{d} = \vec{0}$

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

6.

No gráfico da figura abaixo apresenta três vetores  $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$  e  $\vec{c}$ . Considere os vetores unitários  $\hat{i}$  e  $\hat{j}$ .



Considere as expressões:

(I)  $\vec{a} = 3\hat{i} + 4\hat{j}$

(II)  $\vec{b} = 2\hat{i} + 2\hat{j}$

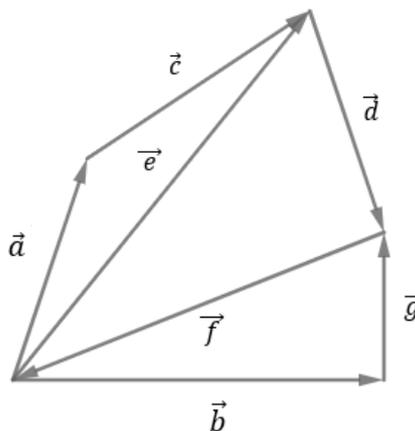
(III)  $\vec{c} = 3\hat{j}$

Podemos afirmar que:

- a) apenas (I) está correta.
- b) apenas (II) está correta.
- c) apenas (III) está correta.
- d) (I) e (II) estão corretas.
- e) todas estão corretas.

7.

Dado o conjunto de vetores, como ilustrado na figura abaixo, marque verdadeira para as equações vetoriais corretas e F para as falsas.



a)  $\vec{a} + \vec{c} = \vec{e}$

b)  $\vec{e} + \vec{d} = \vec{g} + \vec{b}$

c)  $\vec{a} + \vec{c} + \vec{e} = \vec{0}$

d)  $\vec{a} + \vec{c} - \vec{e} + \vec{b} + \vec{g} + \vec{f} = \vec{0}$

e)  $\vec{e} + \vec{d} - \vec{g} + \vec{b} = \vec{0}$

8.

Dois vetores ortogonais, isto é, são perpendiculares entre si, um de módulo igual a 18 e outro de módulo 24, então, o vetor soma terá módulos igual a:

a) 20

b) 25

c) 28

d) 30

e) 32

9.

Dentre as alternativas abaixo, assinale as alternativas erradas. Considere  $n \in \mathbb{R}_*$  e o vetor não-nulo  $\vec{a}$ .

a) a direção de  $\vec{b} = n \cdot \vec{a}$  tem sempre a mesma direção de  $\vec{a}$ .

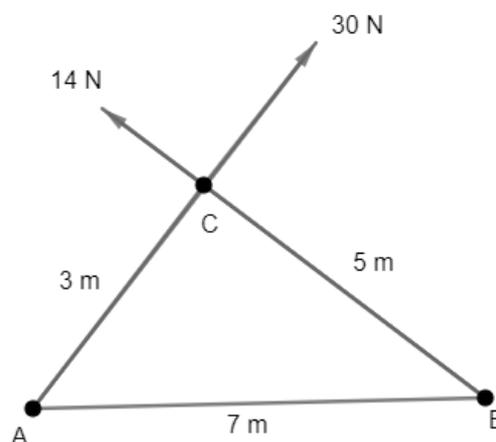
b) se  $n < 0$  então a direção de  $\vec{b} = n \cdot \vec{a}$  é diferente da direção de  $\vec{a}$ .

c) independente do sinal de  $n$ , o vetor  $\vec{b} = n \cdot \vec{a}$  tem sempre o mesmo sentido de  $\vec{a}$ .

d) se  $n > 0$  o vetor  $\vec{b} = n \cdot \vec{a}$  tem módulo maior que o módulo de  $\vec{a}$ .

10.

Considere duas cargas elétricas positivas posicionadas nos vértices A e B. No vértice C, coloque-se uma terceira carga de tal forma que surgem forças repulsivas na carga do vértice, conforme a figura abaixo. Determine o módulo da força resultante no vértice C.



11.

Dados os vetores:  $\vec{a} = 2\hat{i} - 4\hat{j} + 5\hat{k}$  e  $\vec{b} = 2\hat{i} + \hat{j} - 3\hat{k}$ . Determine:



a)  $\vec{a} + \vec{b}$    b)  $\vec{a} - \vec{b}$    c)  $-\vec{a} + \vec{b}$

12.

Considere o problema anterior e determine o vetor  $3\vec{a} - \vec{b}$ .

13.

Considere três pontos no espaço dado por:  $A(3,3,6)$ ;  $B(2,1,3)$ ;  $C(2,2,3)$ . Definimos o vetor  $\vec{a}$  com origem em A e extremidade em C, e o vetor  $\vec{b}$ , com origem em B e extremidade em A. Determine:

a)  $\vec{a} \cdot \vec{b}$                       b)  $\vec{a} \times \vec{b}$

14.

Dado o vetor  $\vec{a} = (n, \frac{1}{2}, -\frac{1}{2})$ , determine n para que o vetor seja unitário.

15.

Considere o vetor  $\vec{a} = (3, -1, \sqrt{6})$ . Determine o vetor paralelo a  $\vec{a}$  com as seguintes características:

- a) sentido contrário ao de  $\vec{a}$  e 2 vezes o módulo de  $\vec{a}$ .
- b) sentido contrário ao de  $\vec{a}$  e módulo 4.
- c) mesmo sentido e módulo igual a 12.

16.

Obtenha o vetor  $\vec{b}$ , sabendo que  $|\vec{b}| = 5$ ,  $\vec{b}$  é ortogonal ao eixo OX,  $\vec{a} \cdot \vec{b} = 6$  e  $\vec{a} = \hat{i} + 2\hat{j}$ .

17.

Calcule o valor de  $\alpha$  para que os vetores  $\vec{a} + \vec{b}$  seja ortogonal ao vetor  $\vec{c} - \vec{a}$ . Dado que:  $\vec{a} = (2, 1, \alpha)$ ,  $\vec{b} = (\alpha + 2, -5, 2)$  e  $\vec{c} = (2\alpha, 8, \alpha)$ .

18.

Obtenha o vetor  $\vec{x}$  tal que:  $\vec{x} \cdot (1, 4, -3) = -7$  e  $\vec{x} \times (4, -2, 1) = (3, 5, -2)$ .

19.

Encontre um vetor que seja simultaneamente ortogonal aos vetores  $\vec{a} + 2\vec{b}$  e  $\vec{b} - \vec{a}$ , onde  $\vec{a} = (-3, 2, 0)$  e  $\vec{b} = (0, -1, -2)$ .

20.

Determine o valor de m para que o paralelogramo definido por  $\vec{a} = (m, -3, 1)$  e  $\vec{b} = (1, -2, 2)$  tenha área igual  $\sqrt{26}$ .

21. (ITA – 1991)

Considere a Terra como sendo uma esfera de raio R e massa M, uniformemente distribuída. Um satélite artificial descreve uma órbita circular a uma altura h da superfície da Terra, onde a



aceleração gravitacional (sobre a órbita) é  $g$ . Em termos de algarismos significativos, o quadrado da velocidade do satélite é mais bem representado por:

- a)  $16,81 \cdot 10^6 (km/h)^2$
- b)  $3,62 \cdot 10^{32} (km/h)^2$
- c)  $6,05 \cdot 10^7 (m/s)^2$
- d)  $6,0517 \cdot 10^7 (m/s)^2$
- e) Nenhum dos valores apresentados é adequado.

Dados:  $R = 6,378 \cdot 10^6 m$ ;  $M = 5,983 \cdot 10^{24} kg$ ;  $h = 2,00 \cdot 10^5 m$  e  $g = 9,2 m/s^2$

Note e adote:  $V^2 = g \cdot (R + h)$

## 22. (ITA-2002)

A massa inercial mede a dificuldade em se alterar o estado de movimento de uma partícula. Analogamente, o momento de inércia de massa mede a dificuldade em se alterar o estado de rotação de um corpo rígido. No caso de uma esfera, o momento de inércia em torno de um eixo que passa pelo seu centro é dado por  $I = \frac{2}{5}MR^2$ , em que  $M$  é a massa da esfera e  $R$  seu raio. Para uma esfera de massa  $M = 25,0 kg$  e raio  $R = 15,0 cm$ , a alternativa que melhor representa o seu momento de inércia é

- a)  $22,50 \cdot 10^2 kg \cdot m^2$
- b)  $2,25 kg \cdot m^2$
- c)  $0,225 kg \cdot m^2$
- d)  $0,22 kg \cdot m^2$
- e)  $22,00 kg \cdot m^2$

## 23. (ITA – 2007)

Sobre um corpo de  $2,5kg$  de massa atuam, em sentidos opostos de uma mesma direção, duas forças de intensidades  $150,40N$  e  $50,40N$ , respectivamente. A opção que oferece o módulo da aceleração resultante com o número correto de algarismos significativos é

- a)  $40,00 m/s^2$
- b)  $40 m/s^2$
- c)  $0,4 \cdot 10^2 m/s^2$
- d)  $40,0 m/s^2$
- e)  $40,000 m/s^2$

## 24. (UNICAMP-94)



Impressionado com a beleza da jovem modelo (1,70 m de altura e 55 kg), um escultor de praia fez sua (dela) estátua de areia do mesmo tamanho que o modelo. Adotando valores razoáveis para os dados que faltam no enunciado:

- a) calcule o volume da estátua (em litros);
- b) estime a ordem de grandeza do número de grãos de areia que foram usados na escultura

## 25. (UERJ)

O acelerador de íons pesados relativísticos de Brookhaven (Estados Unidos) foi inaugurado com a colisão entre dois núcleos de ouro, liberando uma energia de 10 trilhões de elétrons-volt. Os cientistas esperam, em breve, elevar a energia a 40 trilhões de elétrons-volt, para simular as condições do Universo durante os primeiros microssegundos após o Big Bang. (Ciência Hoje, setembro de 2000). Sabendo que 1 elétron-volt é igual a  $1,6 \cdot 10^{-19}$  joules, a ordem de grandeza da energia, em joules, que se espera atingir em breve, com o acelerador de Brookhaven, é:

- a)  $10^{-8}$
- b)  $10^{-7}$
- c)  $10^{-6}$
- d)  $10^{-5}$



GABARITO



## 1.6. Gabarito

1.  $|\vec{s}| = 2\sqrt{41}$

2.  $|\vec{s}| = 5\sqrt{7}$

3.  $\vec{s} = \vec{0}$

4.  $|\vec{d}| = 2\sqrt{61}$

5. C

6. A

7. VVFVF

8. D

9. b, c e d.

10.  $s = 26 N$

11. a)  $4\hat{i} - 3\hat{j} + 2\hat{k}$       b)  $-5\hat{j} + 8\hat{k}$       c)  
 $5\hat{j} - 8\hat{k}$

12.  $4\hat{i} - 13\hat{j} + 18\hat{k}$

13. a) -12 b)  $\vec{a} \times \vec{b} = (3, 0, -1)$

14.  $n = \pm \frac{\sqrt{2}}{2}$

15. a)  $(-6, 2, -2\sqrt{6})$     b)  $(-3, 1, -\sqrt{6})$   
c)  $(-9, 3, 3\sqrt{6})$

16.  $\vec{b} = (0, 3, 4)$  ou  $\vec{b} = (0, 3, -4)$

17.  $\alpha = 3$  ou  $\alpha = -6$

18.  $\vec{x} = (3, -1, 2)$

19.  $(-12, -18, 9)$

20.  $m = 0$  ou  $m = 2$

21. C

22. C

23. B

24. a) 38,5 L b) 10

25. D



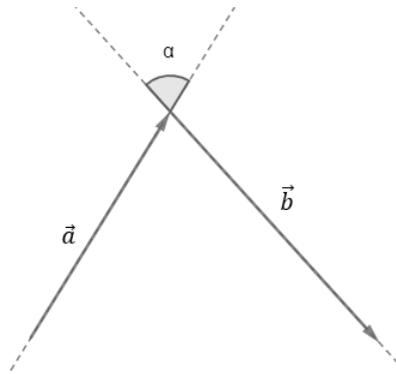
ESCLARECENDO!



## 1.7. Questões comentadas

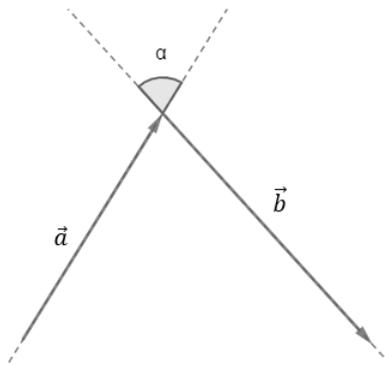
1.

Determine o módulo do vetor soma  $\vec{s} = \vec{a} + \vec{b}$ , dado que  $|\vec{a}| = 10$ ,  $|\vec{b}| = 16$  e  $\cos\alpha = 0,6$ .



### Comentários:

De início, determinaremos o vetor soma geometricamente, fechando o triângulo, de acordo com a regra do polígono. Em seguida utilizaremos a lei dos cossenos para determinar o módulo de  $\vec{s}$ :



De acordo com a lei dos cossenos, podemos escrever que:

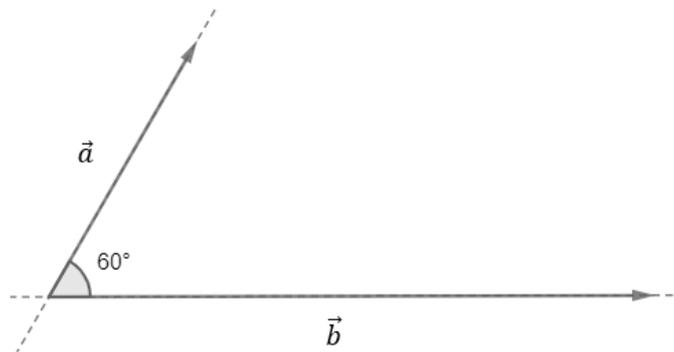
$$\begin{aligned} |\vec{s}|^2 &= |\vec{a}|^2 + |\vec{b}|^2 - 2|\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \cos\alpha \Rightarrow |\vec{s}|^2 = 10^2 + 16^2 - 2 \cdot 10 \cdot 16 \cdot 0,6 \\ &\Rightarrow |\vec{s}| = \sqrt{164} \Rightarrow \boxed{|\vec{s}| = 2\sqrt{41}} \end{aligned}$$

**Gabarito:**  $|\vec{s}| = 2\sqrt{41}$

2.

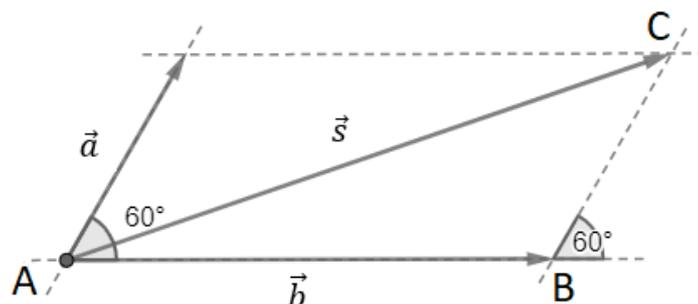
Determine o módulo do vetor resultante sabendo que  $\vec{a}$  e  $\vec{b}$  são representados logo abaixo. Dados  $|\vec{a}| = 5$  e  $|\vec{b}| = 10$ .





**Comentários:**

Inicialmente, encontraremos o vetor resultante  $\vec{s} = \vec{a} + \vec{b}$  pela regra do paralelogramo, e determinaremos seu módulo utilizando a lei dos cossenos:



Aplicando a lei dos cossenos no triângulo ABC:

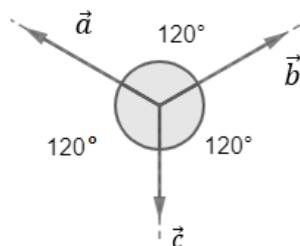
$$|\vec{s}|^2 = |\vec{a}|^2 + |\vec{b}|^2 - 2|\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \cos(180^\circ - 60^\circ) \Rightarrow |\vec{s}|^2 = 5^2 + 10^2 + 2 \cdot 5 \cdot 10 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)$$

$$\Rightarrow |\vec{s}| = \sqrt{175} \Rightarrow \boxed{|\vec{s}| = 5\sqrt{7}}$$

**Gabarito:**  $|\vec{s}| = 5\sqrt{7}$

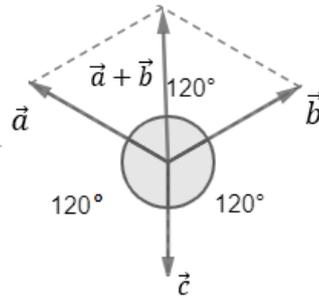
**3.**

Determine o módulo da resultante  $\vec{s} = \vec{a} + \vec{b} + \vec{c}$ . Dados  $|\vec{a}| = |\vec{b}| = |\vec{c}| = 10$ .



**Comentários:**

Primeiramente, ao somar os vetores  $\vec{a} + \vec{b}$ , verificamos que ele é igual ao vetor  $\vec{c}$ , devido a geometria do problema, portanto, o vetor resultante será o vetor nulo ( $\vec{s} = \vec{0}$ ).

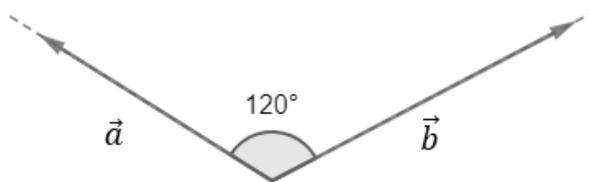


**Gabarito:**  $\vec{s} = \vec{0}$

4.

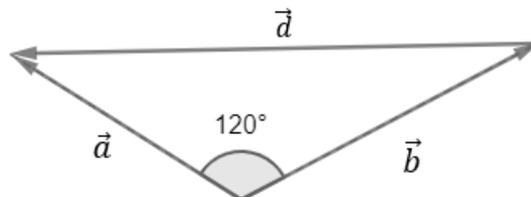
Para o conjunto de vetores da figura abaixo, determine o módulo do vetor diferença  $\vec{d} = \vec{a} - \vec{b}$ .

Dados:  $|\vec{a}| = 8$  e  $|\vec{b}| = 10$ .



**Comentários:**

Para começar o problema, vamos determinar o vetor diferença geometricamente, ligando a extremidade do segundo vetor a extremidade do primeiro. Em seguida, calcularemos o módulo.



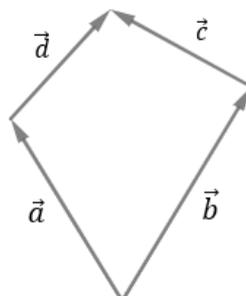
Lei dos cossenos para o triângulo formado pelos vetores:

$$|\vec{d}|^2 = |\vec{a}|^2 + |\vec{b}|^2 - 2|\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \cos(120^\circ) \Rightarrow \boxed{|\vec{d}| = 2\sqrt{61}}$$

**Gabarito:**  $|\vec{d}| = 2\sqrt{61}$

5.

Qual das alternativas abaixo é uma relação verdadeira entre os vetores  $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$ ,  $\vec{c}$  e  $\vec{d}$ .



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

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

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

d)  $\vec{a} + \vec{b} + \vec{c} + \vec{d} = \vec{0}$

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

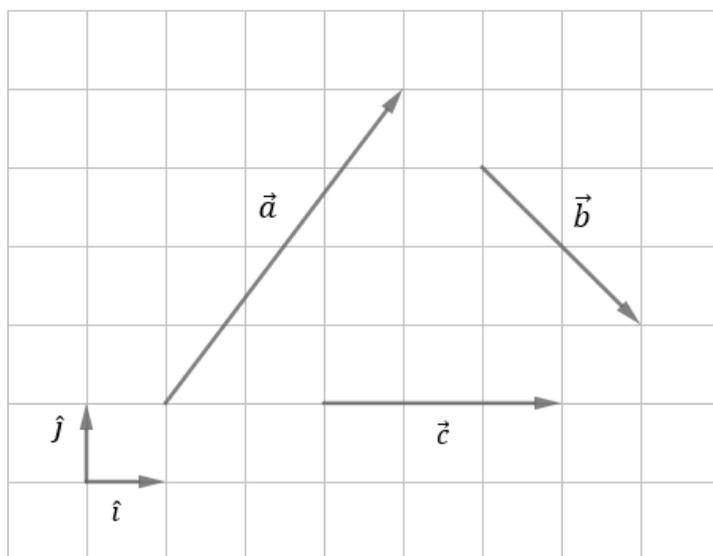
**Comentários:**

Ao fazermos o vetor  $\vec{a} + \vec{d}$ , vemos que ele é igual ao vetor  $\vec{c} + \vec{b}$ .

**Gabarito: c**

6.

No gráfico da figura abaixo apresenta três vetores  $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$  e  $\vec{c}$ . Considere os vetores unitários  $\hat{i}$  e  $\hat{j}$ .



Considere as expressões:

(I)  $\vec{a} = 3\hat{i} + 4\hat{j}$

(II)  $\vec{b} = 2\hat{i} + 2\hat{j}$

(III)  $\vec{c} = 3\hat{j}$

Podemos afirmar que:

- a) apenas (I) está correta.
- b) apenas (II) está correta.
- c) apenas (III) está correta.
- d) (I) e (II) estão corretas.
- e) todas estão corretas.

**Comentários:**

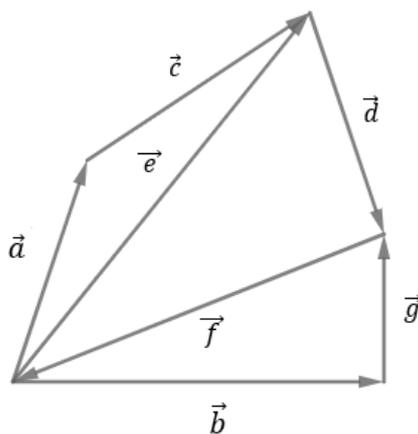


Ao escrever a representação de cada vetor, obtemos os seguintes vetores:  $\vec{a} = 3\hat{i} + 4\hat{j}$ ,  $\vec{b} = 2\hat{i} - 2\hat{j}$  e  $\vec{c} = 3\hat{i}$ .

**Gabarito: A**

7.

Dado o conjunto de vetores, como ilustrado na figura abaixo, marque verdadeira para as equações vetoriais corretas e F para as falsas.



- a)  $\vec{a} + \vec{c} = \vec{e}$
- b)  $\vec{e} + \vec{d} = \vec{g} + \vec{b}$
- c)  $\vec{a} + \vec{c} + \vec{e} = \vec{0}$
- d)  $\vec{a} + \vec{c} - \vec{e} + \vec{b} + \vec{g} + \vec{f} = \vec{0}$
- e)  $\vec{e} + \vec{d} - \vec{g} + \vec{b} = \vec{0}$

**Comentários:**

Para cada afirmação, devemos verificar as relações entre os vetores, utilizando a regra do polígono:

- a) De fato, ao somarmos os vetores  $\vec{a} + \vec{c}$  verificamos que ele é igual ao vetor  $\vec{e}$ , portanto a alternativa é verdadeira;
- b) Somando  $\vec{e} + \vec{d}$ , verificamos que ele é  $-\vec{f}$ , mesmo resultado obtido ao fazermos  $\vec{b} + \vec{g}$ , portanto, a alternativa é verdadeira;
- c) Do item A, temos que  $\vec{a} + \vec{c} = \vec{e}$ . Portanto,  $\vec{a} + \vec{c} + \vec{e} = 2\vec{e} \neq \vec{0}$ , portanto, a alternativa é falsa;
- d) Do item A, temos novamente que  $\vec{a} + \vec{c} = \vec{e}$ . Portanto,  $\vec{a} + \vec{c} - \vec{e} = \vec{0}$  e da figura vemos claramente que  $\vec{b}$ ,  $\vec{g}$  e  $\vec{f}$  fecham um triângulo, respeitada a regra do polígono. Então, a alternativa é verdadeira;
- e) Olhando a figura vemos que  $\vec{e} + \vec{d} = -\vec{f}$  e  $\vec{g} + \vec{b} = -\vec{f} \Rightarrow \vec{g} + \vec{b} = \vec{e} + \vec{d} \Rightarrow \vec{b} = \vec{e} + \vec{d} - \vec{g}$ . Portanto,  $\vec{e} + \vec{d} - \vec{g} + \vec{b} = \vec{0} \Rightarrow \vec{b} + \vec{b} = \vec{0} \Rightarrow 2\vec{b} = \vec{0}$ . Logo a alternativa é falsa.

**Gabarito: VVFVF.**

ATENÇÃO  
DECORE!



8.

Dois vetores ortogonais, isto é, são perpendiculares entre si, um de módulo igual a 18 e outro de módulo 24, então, o vetor soma terá módulos igual a:

- a) 20
- b) 25
- c) 28
- d) 30
- e) 32

**Comentários:**

Dado que os vetores são ortogonais, o ângulo entre eles é  $90^\circ$  e sabemos que o vetor resultante é a hipotenusa definida pelos catetos cujos tamanhos são os módulos dos vetores dados.

Assim, é válido o teorema de Pitágoras. Entretanto, como podemos ver os catetos são proporcionais aos catetos do triângulo pitagórico 3,4,5. Se fizermos a semelhança veremos que os lados foram multiplicados por 6. Logo a hipotenusa também será multiplicada por 6, portanto, o módulo do vetor soma é  $5 \times 6 = 30$ .

**Gabarito: D.**

---

9.

Dentre as alternativas abaixo, assinale as alternativas erradas. Considere  $n \in \mathbb{R}_*$  e o vetor não-nulo  $\vec{a}$ .

- a) a direção de  $\vec{b} = n \cdot \vec{a}$  tem sempre a mesma direção de  $\vec{a}$ .
- b) se  $n < 0$  então a direção de  $\vec{b} = n \cdot \vec{a}$  é diferente da direção de  $\vec{a}$ .
- c) independente do sinal de  $n$ , o vetor  $\vec{b} = n \cdot \vec{a}$  tem sempre o mesmo sentido de  $\vec{a}$ .
- d) se  $n > 0$  o vetor  $\vec{b} = n \cdot \vec{a}$  tem módulo maior que o módulo de  $\vec{a}$ .

**Comentários:**

A letra a) está correta, pois, ao multiplicar um vetor por um número escalar não alteramos a direção do vetor, podemos apenas alterar o sentido do vetor. Dessa forma, já podemos observar que a letra b) está errada.

Como vimos na teoria, ao multiplicar um vetor por um número escalar negativo, trocamos o sentido do vetor, assim, a letra c também está errada. Para a alternativa d) devemos lembrar que aumentamos o módulo de um vetor somente quando multiplicamos o vetor por um escalar quando multiplicamos por um escalar cujo módulo é maior que 1.

Como vemos matematicamente:

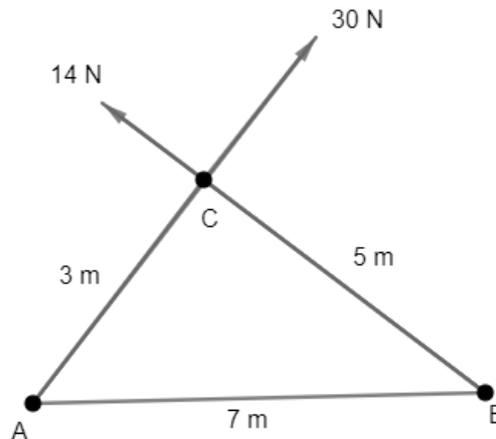


$$|\vec{b}| > |\vec{a}| \Rightarrow |n \cdot \vec{a}| > |\vec{a}| \Rightarrow |n| \cdot |\vec{a}| > |\vec{a}| \Rightarrow |\vec{a}|(|n| - 1) > 0 \Rightarrow |n| > 1.$$

**Gabarito: B, C e D.**

**10.**

Considere duas cargas elétricas positivas posicionadas nos vértices A e B. No vértice C, coloque-se uma terceira carga de tal forma que surgem forças repulsivas na carga do vértice, conforme a figura abaixo. Determine o módulo da força resultante no vértice C.



**Comentários:**

Primeiramente, utilizaremos a lei dos cossenos para calcular o valor do cosseno do vértice:

$$7^2 = 3^2 + 5^2 - 2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \cos(\widehat{ACB}) \Rightarrow \cos(\widehat{ACB}) = -\frac{1}{2}$$

Diante disso, podemos usar a expressão para o cálculo do vetor soma:

$$s^2 = 14^2 + 30^2 + 2 \cdot 14 \cdot 30 \cdot \cos(\widehat{ACB}) \Rightarrow s^2 = 1096 - 2 \cdot 14 \cdot 30 \cdot \left(\frac{1}{2}\right) \Rightarrow \boxed{s = 26 \text{ N}}$$

**Gabarito: s = 26 N**

**11.**

Dados os vetores:  $\vec{a} = 2\hat{i} - 4\hat{j} + 5\hat{k}$  e  $\vec{b} = 2\hat{i} + \hat{j} - 3\hat{k}$ . Determine:

a)  $\vec{a} + \vec{b}$     b)  $\vec{a} - \vec{b}$     c)  $-\vec{a} + \vec{b}$

**Comentários:**

a)  $\vec{a} + \vec{b} = (2 + 2)\hat{i} + (-4 + 1)\hat{j} + (5 - 3)\hat{k} = 4\hat{i} - 3\hat{j} + 2\hat{k}$

b)  $\vec{a} - \vec{b} = 2\hat{i} - 4\hat{j} + 5\hat{k} - (2\hat{i} + \hat{j} - 3\hat{k}) = (2 - 2)\hat{i} + (-4 - 1)\hat{j} + (5 + 3)\hat{k} = -5\hat{j} + 8\hat{k}$

c)  $-\vec{a} + \vec{b} = -(2\hat{i} - 4\hat{j} + 5\hat{k}) + 2\hat{i} + \hat{j} - 3\hat{k} = (4 + 1)\hat{j} + (-5 - 3)\hat{k} = 5\hat{j} - 8\hat{k}$

Repare que  $\vec{a} - \vec{b} = -(-\vec{a} + \vec{b})$ , conforme visto na teoria.

**Gabarito:  $4\hat{i} - 3\hat{j} + 2\hat{k}$ ,  $-5\hat{j} + 8\hat{k}$ ,  $5\hat{j} - 8\hat{k}$**

**12.**

Considere o problema anterior e determine o vetor  $3\vec{a} - \vec{b}$ .



### Comentários:

Inicialmente calculamos as partes.

$$3\vec{a} = 3(2\hat{i} - 4\hat{j} + 5\hat{k}) = 6\hat{i} - 12\hat{j} + 15\hat{k}$$

Finalmente:

$$3\vec{a} - \vec{b} = 6\hat{i} - 12\hat{j} + 15\hat{k} - (2\hat{i} + \hat{j} - 3\hat{k}) = 4\hat{i} - 13\hat{j} + 18\hat{k}$$

**Gabarito:  $4\hat{i} - 13\hat{j} + 18\hat{k}$**

---

### 13.

Considere três pontos no espaço dado por:  $A(3,3,6)$ ;  $B(2,1,3)$ ;  $C(2,2,3)$ . Definimos o vetor  $\vec{a}$  com origem em A e extremidade em C, e o vetor  $\vec{b}$ , com origem em B e extremidade em A. Determine:

a)  $\vec{a} \cdot \vec{b}$                       b)  $\vec{a} \times \vec{b}$

### Comentários:

Inicialmente, vamos calcular os vetores  $\vec{a}$  e  $\vec{b}$ . Para calcular o vetor  $\vec{a}$  basta fazer a diferença entre posição da extremidade e a posição da origem (em cálculo vetorial no ITA, todas as definições matemáticas serão trabalhadas, mas para o nosso curso vamos nos contentar apenas mostrar como trabalhar com os vetores).

Assim, temos que:

$$\vec{a} = (2,2,3) - (3,3,6) = (-1, -1, -3) \text{ e } \vec{b} = (3,3,6) - (2,1,3) = (1,2,3)$$

Então:

a)  $\vec{a} \cdot \vec{b} = (-1) \cdot (1) + (-1) \cdot (2) + (-3) \cdot (3) = -1 - 2 - 9 = -12$

b)  $\vec{a} \times \vec{b} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ -1 & -1 & -3 \\ 1 & 2 & 3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -1 & -3 \\ 2 & 3 \end{vmatrix} \hat{i} - \begin{vmatrix} -1 & -3 \\ 1 & 3 \end{vmatrix} \hat{j} + \begin{vmatrix} -1 & -1 \\ 1 & 2 \end{vmatrix} \hat{k}$   
 $\Rightarrow \vec{a} \times \vec{b} = 3\hat{i} - \hat{k}$  ou ainda  $\vec{a} \times \vec{b} = (3,0,-1)$

**Gabarito: a) -12      b)  $\vec{a} \times \vec{b} = (3, 0, -1)$**

---

### 14.

Dado o vetor  $\vec{a} = (n, \frac{1}{2}, -\frac{1}{2})$ , determine  $n$  para que o vetor seja unitário.

### Comentários:

$$|\vec{a}| = \sqrt{n^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 + \left(-\frac{1}{2}\right)^2} = 1 \Rightarrow n^2 + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = 1^2 \Rightarrow n^2 = \frac{4 - 1 - 1}{4} \Rightarrow n^2 = \frac{2}{4} \Rightarrow n = \pm \frac{\sqrt{2}}{2}$$

**Gabarito:  $n = \pm \frac{\sqrt{2}}{2}$**

---

### 15.

Considere o vetor  $\vec{a} = (3, -1, \sqrt{6})$ . Determine o vetor paralelo a  $\vec{a}$  com as seguintes características:



- a) sentido contrário ao de  $\vec{a}$  e 2 vezes o módulo de  $\vec{a}$ .
- b) sentido contrário ao de  $\vec{a}$  e módulo 4.
- c) mesmo sentido e módulo igual a 12.

**Comentários:**

a) Para ter sentido contrário, o vetor deve ser multiplicado por um escalar negativo. Além disso, quando multiplicamos o vetor por um escalar, seu módulo fica multiplicado pelo módulo do escalar. Logo:

$$\vec{b} = n\vec{a} \Rightarrow |\vec{b}| = |n| \cdot |\vec{a}|$$

Logo,  $\vec{b} = (-2)(3, -1, \sqrt{6}) = (-6, 2, -2\sqrt{6})$

b) Módulo de  $\vec{a}$ :

$$|\vec{a}| = \sqrt{3^2 + (-1)^2 + (\sqrt{6})^2} = \sqrt{9 + 1 + 6} = \sqrt{16} = 4$$

Portanto, para que  $|\vec{b}|$  seja tenha módulo igual 4, devemos multiplicar o módulo do vetor  $\vec{a}$  por 1.

Como queremos um sentido contrário, devemos multiplicar o vetor  $\vec{a}$  por -1.

Logo,  $\vec{b} = (-1) \cdot \vec{a} = (-3, 1, -\sqrt{6})$

c) Queremos um vetor de mesmo sentido, logo, devemos multiplicar por um escalar positivo. O módulo do vetor obtido é 12, logo:

$$|\vec{b}| = |n||\vec{a}| \Rightarrow 12 = |n| \cdot 4 \Rightarrow |n| = 3, n > 0 \Rightarrow n = 3$$

Logo:

$$\vec{b} = 3 \cdot \vec{a} = 3(3, -1, \sqrt{6}) = (9, -3, 3\sqrt{6})$$

**Gabarito:** a)  $(-6, 2, -2\sqrt{6})$  b)  $(-3, 1, -\sqrt{6})$  c)  $(9, -3, 3\sqrt{6})$

---

**16.**

Obtenha o vetor  $\vec{b}$ , sabendo que  $|\vec{b}| = 5$ ,  $\vec{b}$  é ortogonal ao eixo  $OX$ ,  $\vec{a} \cdot \vec{b} = 6$  e  $\vec{a} = \hat{i} + 2\hat{j}$ .

**Comentários:**

Vamos considerar o vetor  $\vec{b} = (b_x, b_y, b_z)$ ; a partir do módulo podemos escrever que:

$$|\vec{b}| = 5 \Rightarrow b_x^2 + b_y^2 + b_z^2 = 5^2$$

Condição de ortogonalidade:

$$\vec{b} \cdot \hat{i} = 0 \Rightarrow b_x \cdot 1 + b_y \cdot 0 + b_z \cdot 0 = 0 \Rightarrow b_x = 0$$

Produto escalar de  $\vec{a} \cdot \vec{b}$ :

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = 6 \Rightarrow 1 \cdot 0 + 2 \cdot b_y + 0 \cdot b_z = 6 \Rightarrow b_y = 3$$

Por fim, utilizando a equação do módulo de  $\vec{b}$ , temos que:

$$0^2 + 3^2 + b_z^2 = 5^2 \Rightarrow b_z = \pm 4$$



Portanto, temos que  $\vec{b} = (0,3,4)$  ou  $\vec{b} = (0,3 - 4)$ .

**Gabarito:**  $\vec{b} = (0, 3, 4)$  ou  $\vec{b} = (0, 3 - 4)$

---

17.

Calcule o valor de  $\alpha$  para que os vetores  $\vec{a} + \vec{b}$  seja ortogonal ao vetor  $\vec{c} - \vec{a}$ . Dado que:  $\vec{a} = (2,1,\alpha)$ ,  $\vec{b} = (\alpha + 2, -5,2)$  e  $\vec{c} = (2\alpha, 8, \alpha)$ .

**Comentários:**

Vamos determinar  $\vec{a} + \vec{b}$  e  $\vec{c} - \vec{a}$ :

$$\vec{a} + \vec{b} = (\alpha + 4, -4, 2 + \alpha) \text{ e } \vec{c} - \vec{a} = (\alpha - 2, 7, 0)$$

Para que  $\vec{a} + \vec{b}$  e  $\vec{c} - \vec{a}$  sejam ortogonais, temos que:

$$\begin{aligned} (\vec{a} + \vec{b}) \cdot (\vec{c} - \vec{a}) &= 0 \Rightarrow (2\alpha - 2)(\alpha + 4) - 4 \cdot 7 + (2 + \alpha) \cdot 0 = 0 \\ \Rightarrow 2\alpha^2 + 6\alpha - 8 - 28 &= 0 \Rightarrow 2\alpha^2 + 6\alpha - 36 = 0 \Rightarrow \alpha^2 + 3\alpha - 18 = 0 \\ \Rightarrow \boxed{\alpha = 3 \text{ ou } \alpha = -6} \end{aligned}$$

**Gabarito:**  $\alpha = 3$  ou  $\alpha = -6$

---

18.

Obtenha o vetor  $\vec{x}$  tal que:  $\vec{x} \cdot (1,4,-3) = -7$  e  $\vec{x} \times (4,-2,1) = (3,5,-2)$ .

**Comentários:**

Vamos dizer que  $\vec{x} = (x_1, x_2, x_3)$ , assim, temos que:

$$\vec{x} \cdot (1,4,-3) = -7 \Rightarrow x_1 \cdot 1 + x_2 \cdot 4 + x_3 \cdot (-3) = -7 \quad (1)$$

$$\vec{x} \times (4,-2,1) = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ x_1 & x_2 & x_3 \\ 4 & -2 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_2 & x_3 \\ -2 & 1 \end{vmatrix} \cdot \hat{i} - \begin{vmatrix} x_1 & x_3 \\ 4 & 1 \end{vmatrix} \cdot \hat{j} + \begin{vmatrix} x_1 & x_2 \\ 4 & -2 \end{vmatrix} \cdot \hat{k}$$

$$\vec{x} \times (4,-2,1) = (x_2 + 2x_3)\hat{i} + (4x_3 - x_1)\hat{j} + (-2x_1 - 4x_2)\hat{k}$$

$$\vec{x} \times (4,-2,1) = (x_2 + 2x_3, 4x_3 - x_1, -2x_1 - 4x_2)$$

$$\vec{x} \times (4,-2,1) = (3,5,-2)$$

Então:

$$\begin{cases} x_2 + 2x_3 = 3 & (2) \\ 4x_3 - x_1 = 5 & (3) \\ -2x_1 - 4x_2 = -2 & (4) \end{cases}$$

Ao somar a equação (1) com (4), temos que:

$$[x_1 \cdot 1 + x_2 \cdot 4 + x_3 \cdot (-3)] + [-2x_1 - 4x_2] = -7 - 2 \Rightarrow -x_1 - 3x_3 = -9 \quad (5)$$

Fazendo (3) - (5), temos:

$$[4x_3 - x_1] - [-x_1 - 3x_3] = 5 - (-9) \Rightarrow 7x_3 = 14 \Rightarrow \boxed{x_3 = 2}$$



Substituindo  $x_3 = 2$  em (2) temos que:

$$x_2 + 2(2) = 3 \Rightarrow \boxed{x_2 = -1}$$

Substituindo  $x_2 = -1$  em (4), encontraremos  $x_1$ :

$$-2x_1 - 4(-1) = -2 \Rightarrow -2x_1 = -6 \Rightarrow \boxed{x_1 = 3}$$

Logo:

$$\boxed{\vec{x} = (3, -1, 2)}$$

**Gabarito:**  $\vec{x} = (3, -1, 2)$

---

19.

Encontre um vetor que seja simultaneamente ortogonal aos vetores  $\vec{a} + 2\vec{b}$  e  $\vec{b} - \vec{a}$ , onde  $\vec{a} = (-3, 2, 0)$  e  $\vec{b} = (0, -1, -2)$ .

**Comentários:**

Como visto em teoria, ao calcularmos o produto vetorial de dois vetores, encontramos um terceiro vetor ortogonal ao plano dos dois primeiros, logo esse vetor é ortogonal aos dois vetores anteriores. Assim, basta calcularmos  $(\vec{a} + 2\vec{b}) \times (\vec{b} - \vec{a})$ .

Vamos calcular os vetores individualmente:  $\vec{a} + 2\vec{b} = (-3, 0, -4)$  e  $\vec{b} - \vec{a} = (3, -3, -2)$ .

Dessa forma, temos que:

$$(\vec{a} + 2\vec{b}) \times (\vec{b} - \vec{a}) = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ -3 & 0 & -4 \\ 3 & -3 & -2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & -4 \\ -3 & -2 \end{vmatrix} \cdot \hat{i} - \begin{vmatrix} -3 & -4 \\ 3 & -2 \end{vmatrix} \cdot \hat{j} + \begin{vmatrix} -3 & 0 \\ 3 & -3 \end{vmatrix} \cdot \hat{k}$$

Portanto:  $(\vec{a} + 2\vec{b}) \times (\vec{b} - \vec{a}) = 12\hat{i} - 18\hat{j} + 9\hat{k} = (-12, -18, 9)$ .

**Gabarito:**  $(-12, -18, 9)$

---

20.

Determine o valor de  $m$  para que o paralelogramo definido por  $\vec{a} = (m, -3, 1)$  e  $\vec{b} = (1, -2, 2)$  tenha área igual  $\sqrt{26}$ .

**Comentários:**

Vamos calcular o módulo de  $|\vec{a} \times \vec{b}|$ , pois, como vimos, o módulo de  $\vec{a}$  vetor  $\vec{b}$  equivale a área do paralelogramo definido por eles:

$$\vec{a} \times \vec{b} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ m & -3 & 1 \\ 1 & -2 & 2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -3 & 1 \\ -2 & 2 \end{vmatrix} \cdot \hat{i} - \begin{vmatrix} m & 1 \\ 1 & 2 \end{vmatrix} \cdot \hat{j} + \begin{vmatrix} m & -3 \\ 1 & -2 \end{vmatrix} \cdot \hat{k}$$
$$\vec{a} \times \vec{b} = (-4)\hat{i} + (-2m + 1)\hat{j} + (-2m + 3)\hat{k}$$

Logo:

$$|\vec{a} \times \vec{b}| = \sqrt{(-4)^2 + (-2m + 1)^2 + (-2m + 3)^2} = \sqrt{26}$$



$$\Rightarrow 16 + 4m^2 - 4m + 1 + 4m^2 - 12m + 9 = 26 \Rightarrow 8m^2 - 16m = 0$$

$$\Rightarrow 8m(m - 2) = 0 \Rightarrow \boxed{m = 0} \text{ ou } \boxed{m = 2}$$

**Gabarito:  $m = 0$  ou  $m = 2$**

---

## 21. (ITA – 1991)

Considere a Terra como sendo uma esfera de raio  $R$  e massa  $M$ , uniformemente distribuída. Um satélite artificial descreve uma órbita circular a uma altura  $h$  da superfície da Terra, onde a aceleração gravitacional (sobre a órbita) é  $g$ . Em termos de algarismos significativos, o quadrado da velocidade do satélite é mais bem representado por:

a)  $16,81 \cdot 10^6 (km/h)^2$

b)  $3,62 \cdot 10^{32} (km/h)^2$

c)  $6,05 \cdot 10^7 (m/s)^2$

d)  $6,0517 \cdot 10^7 (m/s)^2$

e) Nenhum dos valores apresentados é adequado.

Dados:  $R = 6,378 \cdot 10^6 m$ ;  $M = 5,983 \cdot 10^{24} kg$ ;  $h = 2,00 \cdot 10^5 m$  e  $g = 9,2 m/s^2$

Note e adote:  $V^2 = g \cdot (R + h)$

### Comentários:

Uma boa dica para saber se a questão é de algarismos significativos é olhar as alternativas. Geralmente, existem alternativas semelhantes, mas com número de algarismos significativos diferentes.

Utilizando a velocidade descrita no note e adote, temos que:

$$V^2 = 9,2(63,78 \cdot 10^5 + 2,00 \cdot 10^5)$$

$$V^2 = 9,2 \cdot 65,78 \cdot 10^5$$

Diante dos dados mencionados no enunciado, vemos que a gravidade possui a menor quantidade de algarismos significativos, logo ela limita o número de algarismos significativos. Se considerarmos os algarismos duvidosos de cada parte temos:

$$V^2 = 9,2X \cdot 65,78Y \cdot 10^5$$

Logo, devemos ter o resultado expresso com 3 algarismos significativos:

$$\therefore V^2 = 6,05 \cdot 10^7 (m/s)^2$$

**Gabarito: C**

---



## 22. (ITA-2002)

A massa inercial mede a dificuldade em se alterar o estado de movimento de uma partícula. Analogamente, o momento de inércia de massa mede a dificuldade em se alterar o estado de rotação de um corpo rígido. No caso de uma esfera, o momento de inércia em torno de um eixo que passa pelo seu centro é dado por  $I = \frac{2}{5}MR^2$ , em que  $M$  é a massa da esfera e  $R$  seu raio. Para uma esfera de massa  $M = 25,0 \text{ kg}$  e raio  $R = 15,0 \text{ cm}$ , a alternativa que melhor representa o seu momento de inércia é

- a)  $22,50 \cdot 10^2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- b)  $2,25 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- c)  $0,225 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- d)  $0,22 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- e)  $22,00 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

### Comentários:

De acordo com os enunciados fornecidos, temos que:

$$I = \frac{2}{5}M \cdot R^2 = \frac{2}{5}(25,0) \cdot (15 \cdot 10^{-2})^2$$
$$I = 0,225 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

### Gabarito: C

---

## 23. (ITA – 2007)

Sobre um corpo de  $2,5 \text{ kg}$  de massa atuam, em sentidos opostos de uma mesma direção, duas forças de intensidades  $150,40 \text{ N}$  e  $50,40 \text{ N}$ , respectivamente. A opção que oferece o módulo da aceleração resultante com o número correto de algarismos significativos é

- a)  $40,00 \text{ m/s}^2$
- b)  $40 \text{ m/s}^2$
- c)  $0,4 \cdot 10^2 \text{ m/s}^2$
- d)  $40,0 \text{ m/s}^2$
- e)  $40,000 \text{ m/s}^2$

### Comentários:



Primeiramente, devemos calcular a força resultante sobre o corpo, levando em consideração o número de algarismos significativos:

$$F_R = 150,40 - 50,40$$

$$F_R = 100,00 \text{ (5 significativos)}$$

A aceleração será dada por:

$$a = \frac{F_R}{m} = \frac{100,00}{2,5}$$

Como a massa limita o número de algarismos significativos a 2, então a aceleração terá dois algarismos significativos:

$$a = 40 \text{ m/s}^2$$

**Gabarito: B**

---

#### 24. (UNICAMP-94)

Impressionado com a beleza da jovem modelo (1,70 m de altura e 55 kg), um escultor de praia fez sua (dela) estátua de areia do mesmo tamanho que o modelo. Adotando valores razoáveis para os dados que faltam no enunciado:

- calcule o volume da estátua (em litros);
- estime a ordem de grandeza do número de grãos de areia que foram usados na escultura

**Comentários:**

a)

Considerando que uma pessoa adulta é composta, em média por 70% de água, cuja densidade vale  $1 \text{ g/cm}^3$ , então:

$$m_{\text{água}} = 0,7m_{\text{pessoa}} = 0,7 \cdot 55 = 38,5 \text{ kg} = 38,5 \cdot 10^3 \text{ g}$$

$$V_{\text{água}} = \frac{38,5 \cdot 10^3}{1} = 38,5 \cdot 10^3 \text{ cm}^3 = 38,5 \text{ dm}^3 = 38,5 \text{ l}$$

Tamanho da estátua igual ao da pessoa e que água seja responsável por quase todo volume do corpo humano, logo  $V_{\text{estátua}} = 38,5 \text{ l}$ .

b)



Se considerarmos que o volume de um grão de areia igual a  $0,01 \text{ mm}^3$ , então:

$$0,01 \text{ mm}^3 = 0,01 (10^{-2})^3 \text{ dm}^3 = 1 \cdot 10^{-8} \text{ l}$$

Dividindo o volume da estátua pelo volume de um grão, então:

$$n = \frac{V_{\text{estátua}}}{V_{\text{grão}}} = \frac{38,5}{1 \cdot 10^{-8}} = 3,85 \cdot 10^9$$

Como  $3,85 > 3,16$ , então a ordem de grandeza será de  $OG = 9 + 1 = 10$  (grão).

**Gabarito: a) 38,5 l b) 10**

---

## 25. (UERJ)

O acelerador de íons pesados relativísticos de Brookhaven (Estados Unidos) foi inaugurado com a colisão entre dois núcleos de ouro, liberando uma energia de 10 trilhões de elétrons-volt. Os cientistas esperam, em breve, elevar a energia a 40 trilhões de elétrons-volt, para simular as condições do Universo durante os primeiros microssegundos após o Big Bang. (Ciência Hoje, setembro de 2000). Sabendo que 1 elétron-volt é igual a  $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ joules}$ , a ordem de grandeza da energia, em joules, que se espera atingir em breve, com o acelerador de Brookhaven, é:

- a)  $10^{-8}$
- b)  $10^{-7}$
- c)  $10^{-6}$
- d)  $10^{-5}$

### Comentários:

O valor esperado de ser atingido é de 40 trilhões de elétrons-volt, em que cada elétron-volt é igual a  $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ . Portanto:

$$40 \text{ trilhões} = 40 \cdot 10^{12} = 4,0 \cdot 10^{13}$$

$$40 \text{ trilhões de elétron - volt} \Rightarrow 4,0 \cdot 10^{13} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 6,4 \cdot 10^{-6} \text{ J}$$

Como  $6,4 > 3,16$ , então a ordem de grandeza será  $-6 + 1 = -5$ .

**Gabarito: D**

---



## 2. Introdução à cinemática escalar



### 2.1. Conceitos básicos

A Cinemática é o ramo da Mecânica que descreve os movimentos dos corpos através dos conceitos de posição, velocidade e aceleração. A Dinâmica estuda os fatores que modificam os movimentos.

Inicialmente, serão necessários alguns conceitos primitivos, os quais não são definidos, mas devem ter a mesma significação para todos. Os primeiros conceitos primitivos são os conceitos de *instante* e de *tempo*.

Instante é o momento na qual se registra o tempo. Geralmente, utiliza-se cronômetros e relógios para registrar esses tempos. O instante ao qual se associa tempo zero ( $t = 0$ ) recebe o nome de origem dos tempos.

Define-se tempo ou intervalo de tempo como a duração de um fenômeno físico.

Por exemplo, podemos dizer que um trem passou por uma estação no instante de tempo  $t_1$  e chegou à segunda estação no instante  $t_2$ .

Dessa forma, pode-se afirmar que o fenômeno ocorreu num intervalo de tempo, cuja duração foi  $\Delta t = t_2 - t_1$ .

Vamos imaginar um exemplo simples: um trem sai da estação em direção a duas cidades. No momento de saída disparamos o cronômetro, ou seja, definimos o tempo zero ( $t_0 = 0$ ). Depois de 1h hora o trem passa pela cidade A ( $t_1 = 1h$ ), e quando o cronômetro indica 3h ( $t_2 = 3h$ ) o trem passa pela cidade B.

Assim, podemos dizer que o intervalo de tempo entre a estação e a cidade A foi  $\Delta t_{\text{estação} \rightarrow A} = t_1 - t_0 = 1 - 0 = 1h$ .

O tempo entre A e B foi:  $\Delta t_{A \rightarrow B} = t_2 - t_1 = 3 - 1 = 2h$ .

Por fim, o tempo entre a estação e a cidade B foi  $\Delta t_{\text{estação} \rightarrow B} = t_2 - t_0 = 3 - 0 = 3h$ .

### 2.2. Localização de um ponto material para um dado referencial

Inicialmente, é necessário saber diferenciar *ponto material* de *corpo extenso*.

Ponto material é todo corpo cujas dimensões não interferem no estudo de determinado fenômeno.

Se o corpo não puder ser considerado ponto material, ele se classificará como corpo extenso.



Note que um corpo pode ser um ponto material para uma determinada situação, como por exemplo um caminhão indo de São Paulo para a Bahia, pois as dimensões do caminhão são muito menores que a distância a ser percorrida. Por outro, em uma situação na qual o caminhão está manobrando num estacionamento, ele é um corpo extenso.

A partir dessa diferenciação de corpo extenso e ponto material, podemos fazer a determinação da posição de um ponto material P.

Para isto, é preciso definir *referenciais* ou *sistemas de referência* (R).

Dessa forma, para localizar o ponto P em relação ao referencial R, é preciso conhecer as distâncias de P aos pontos de R, conforme a figura abaixo. A determinação do referencial é feita de acordo com as condições dos problemas, de modo a facilitar as contas e resolução da questão.

Embora todos os problemas físicos ocorram no mundo em três dimensões, geralmente condicionamos o referencial de forma a facilitar a resolução do problema.

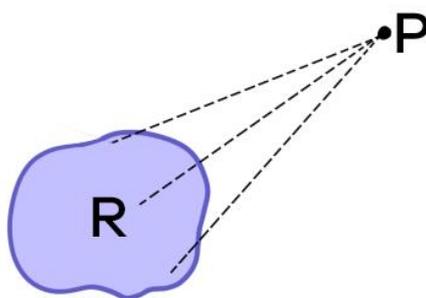


Figura 25: Ponto P segundo o referencial R.

Observação: No Brasil, o sistema de unidades adotado é o Sistema Internacional de Unidades (SI). Ao longo do nosso curso de Física, trabalharemos com diversas unidades no SI. Por enquanto, vamos trabalhar com apenas unidades para tempo e espaço.

A unidade de tempo no SI é o segundo ( $s$ ). O minuto ( $min$ ) e a hora ( $h$ ) são múltiplos do segundo:

$$1min = 60s$$

$$1h = 60min = 3600s$$

A unidade de comprimento no SI é o metro ( $m$ ). O milímetro ( $mm$ ) e o centímetro ( $cm$ ) são submúltiplos do metro. O quilômetro ( $km$ ) é múltiplo do metro:

$$1mm = 10^{-3}m$$

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

$$1km = 10^3m$$

## 2.3. Movimento e repouso

Dizemos que um dado ponto material está em repouso em relação a certo referencial quando todas as suas coordenadas ( $x, y, z$ ), medidas em relação ao referencial, permanecem invariáveis

com o passar do tempo. Se uma de suas coordenadas variar, dizemos que o ponto material está em movimento, em relação ao referencial adotado.

**Observe que o conceito de repouso e de movimento dependem do referencial adotado.** Um ponto material pode estar em repouso em relação a um referencial e em movimento em relação a outro.

Por exemplo, duas pessoas sentadas em um ônibus. Se uma pessoa olhar para a outra terá a impressão de estar parada, pois o referencial está no ônibus onde as duas pessoas se encontram. Entretanto, uma terceira pessoa parada na calçada, ao olhar para elas, verá que as duas estão em movimento, conforme o deslocamento do ônibus. Pode-se dizer que para a terceira pessoa adotou-se como referencial a Terra, pois, ela está parada na calçada.

## 2.4. Trajetória

Definimos como trajetória a curva que descreve o movimento realizado pelo ponto material, em relação a um determinado referencial.

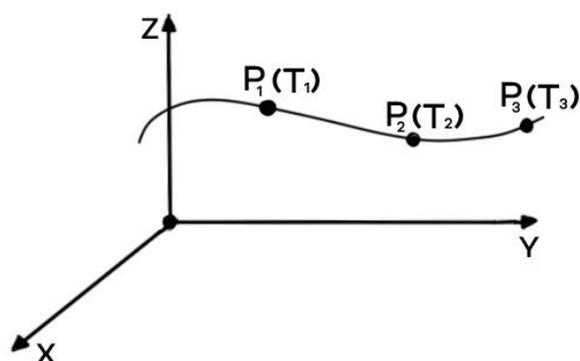


Figura 26: Representação de uma trajetória curva no espaço.

Se o ponto material estiver em repouso, para o referencial escolhido, sua trajetória se reduz a um ponto geométrico.

Ao definirmos trajetória, condicionamos sua definição ao referencial adotado. Vamos estudar um exemplo simples de um menino jogando uma bola no chão do ônibus em movimento. Considere que o ônibus esteja viajando a uma velocidade constante, em uma trajetória retilínea.

Para o menino dentro do ônibus, a bola faz uma trajetória na vertical, fazendo um segmento de reta. Entretanto, para uma pessoa parada na calçada, isto é, no referencial da Terra, a bola faz uma curva de um arco de parábola (a demonstração formal de que a curva é um arco de parábola

será feita no capítulo de lançamento oblíquo, um dos últimos capítulos do nosso curso de cinemática.).

Vide as figuras a seguir:

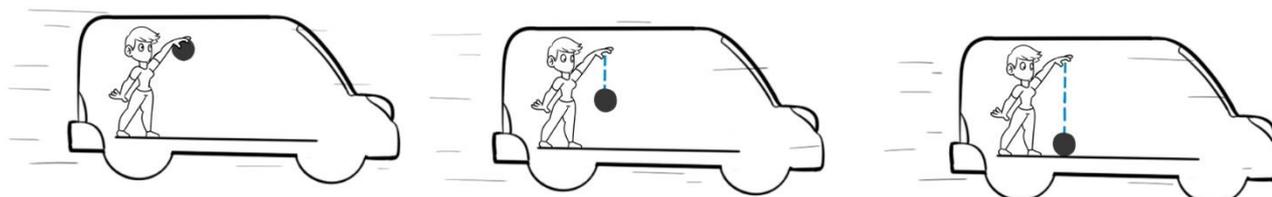


Figura 27: Representação da trajetória da bola, com referencial na criança.

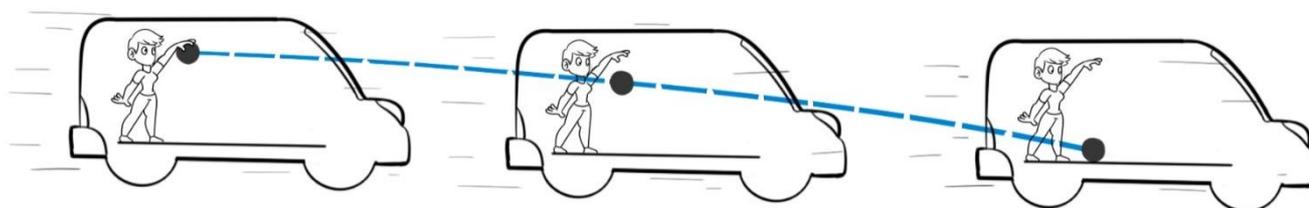


Figura 28: Representação da trajetória da bolinha para um referencial situado na Terra.

O capítulo de movimento relativo será abordado futuramente, mas apenas como curiosidade, existe a ideia de repouso relativo. Imagine dois automóveis percorrendo uma mesma estrada retilínea, com velocidades iguais e no mesmo sentido, sem aceleração, não havendo movimento de um em relação ao outro. Um passageiro de um dos carros, fixando seu olhar exclusivamente no outro carro, sem fazer nenhuma comparação com a estrada e a vizinhança, tem a sensação de que o outro carro está parado. Essa mesma ideia é utilizada no abastecimento de aeronaves em pleno voo. Para isto, basta que não haja movimento relativo entre elas por determinado intervalo de tempo.

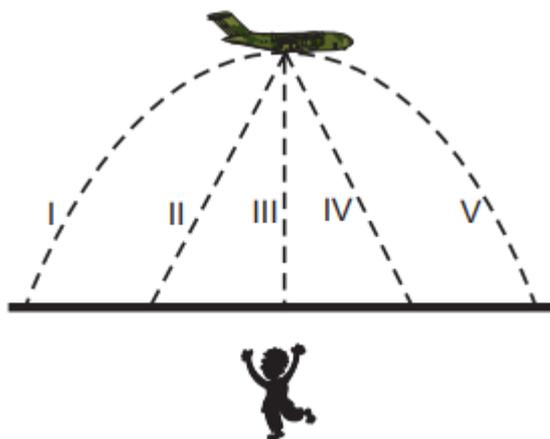


## 2) (UFF - 2004)

Recentemente, o PAM (Programa Alimentar Mundial) efetuou lançamentos aéreos de 87t de alimentos (sem uso de paraquedas) na localidade de Luvemba, em Angola. Os produtos foram ensacados e amarrados sobre placas de madeira para resistirem ao impacto da queda.

Disponível em: <[www.angola.org](http://www.angola.org)>.

A figura ilustra o instante em que um desses pacotes é abandonado do avião. Para um observador em repouso na Terra, o diagrama que melhor representa a trajetória do pacote depois de abandonado, é:



- (A) I
- (B) II
- (C) III
- (D) IV
- (E) V

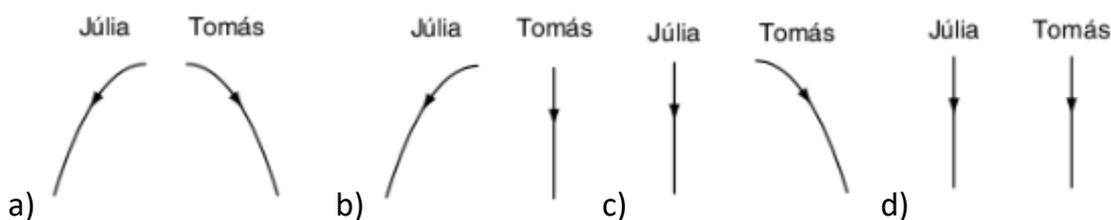
**Comentários:**

Ao ser abandonado do avião, o pacote não possui velocidade escalar na direção vertical, entretanto, ele possui a mesma velocidade horizontal do avião, por isso, o pacote seguirá seu movimento na horizontal ao mesmo tempo que está caindo. Portanto, sua trajetória será um arco de parábola, semelhante ao caso do menino soltando a bola dentro do ônibus, na parte teórica.

**Alternativa correta letra (E).**

**3) (UFMG - 2000)**

Julia está andando de bicicleta, com velocidade constante, quando deixa cair uma moeda. Tomás está parado na rua e vê a moeda cair. Assinale a alternativa em que melhor estão representadas as trajetórias da moeda, como observadas por Júlia e por Tomás.



**Resolução:**

Pelo referencial de Júlia, não existe movimento relativo na horizontal entre a moeda e a Júlia andando de bicicleta, pois, a moeda sai com a mesma velocidade horizontal que Júlia. Então, Júlia vê a moeda cair na vertical.

Entretanto, Tomás, que está parado na rua, vê a composição do movimento horizontal junto com o movimento vertical da moeda. Ele vê a moeda indo para a frente, na direção do deslocamento de Júlia, e, ao mesmo tempo, vê a moeda caindo na vertical.

Essa composição de movimento descreve uma trajetória curva, formando um arco de parábola. Novamente, veremos a demonstração formal dessa curva futuramente.

**Alternativa correta letra C).**

## 2.5. Espaço de um móvel

Vamos utilizar um exemplo para facilitar nosso entendimento. Um carro vai de São Paulo ao Rio de Janeiro e desejamos saber sua posição ao passar por São José dos Campos. Para isso, podemos definir um sistema cartesiano triortogonal e determinar os valores das coordenadas  $(x, y, z)$ , conforme a figura abaixo:

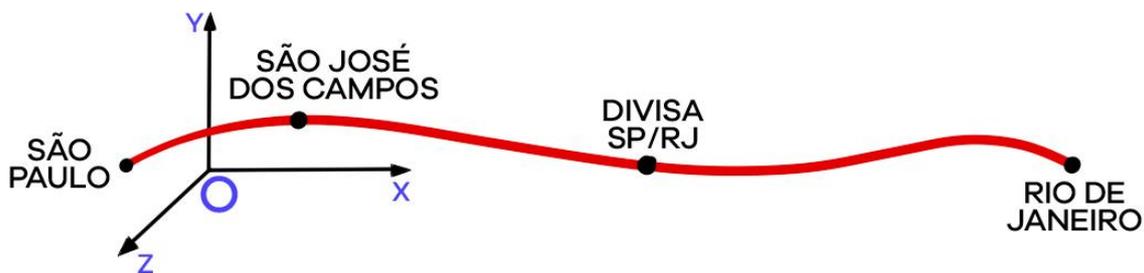


Figura 29: Representação da trajetória de São Paulo ao Rio de Janeiro no espaço.

Entretanto, diante das condições do problema, é bem mais simples fornecer a posição do carro em relação à própria trajetória que já é conhecida. Para isso, definimos um ponto O de forma arbitrária como sendo a origem e uma orientação para a trajetória.

Para o nosso exemplo, podemos definir a Divisa SP/RJ como nossa origem e a orientação positiva no sentido de Rio de Janeiro para São Paulo:

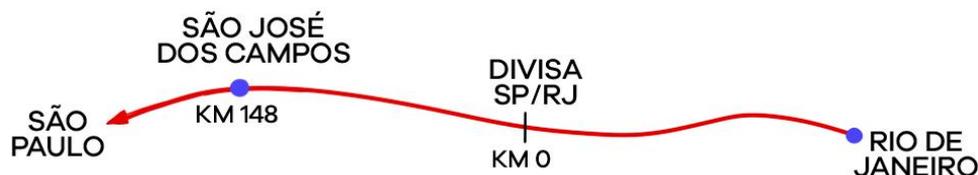


Figura 30: Representação da trajetória de São Paulo para Rio de Janeiro, em apenas uma dimensão.

Podemos afirmar que São José dos Campos situa-se no km 147 da Via Dutra.

Observação: A escolha da origem e da orientação não alteram o lugar onde se encontra o corpo. No exemplo do carro indo de São Paulo para Rio de Janeiro, você poderia ter escolhido outro ponto de origem e outra direção e, mesmo assim, o móvel estaria em São José dos Campos.

Assim, denominamos **espaço** a posição de uma partícula em relação à sua trajetória. Observe que ao fazer tais considerações, a cada valor de tempo corresponde um único valor de espaço.

## 2.6. Função horária do espaço

Se um ponto material está em movimento em relação a certo referencial, à medida que o tempo transcorre, o espaço do móvel varia. Assim, a função horária do espaço é a função que relaciona os espaços  $s$  de um móvel com os correspondentes instantes  $t$ . Dessa forma, conhecer a função horária do espaço é muito importante, pois se conhecemos a função horária podemos determinar o espaço do móvel para cada instante de tempo.

Vamos analisar dois exemplos:

1)  $s(t) = 20 - 5t$  (para  $s$  em metros e  $t$  em segundos)

$$t = 0 \Rightarrow s(0) = 20 - 5 \cdot 0 = 20m$$

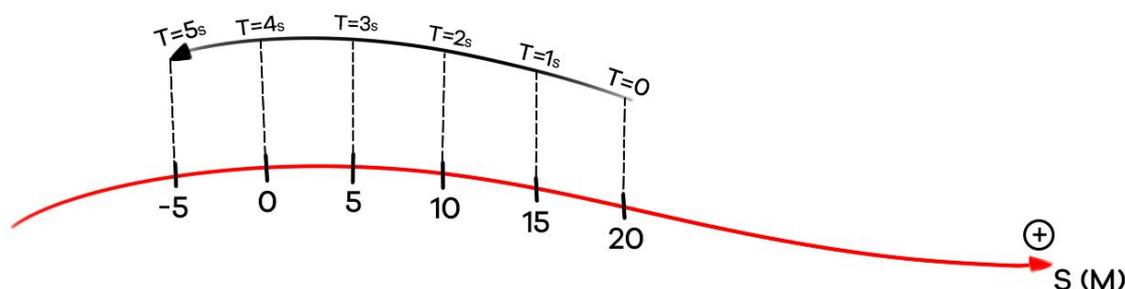
$$t = 1s \Rightarrow s(1) = 20 - 5 \cdot 1 = 15m$$

$$t = 2s \Rightarrow s(2) = 20 - 5 \cdot 2 = 10m$$

$$t = 3s \Rightarrow s(3) = 20 - 5 \cdot 3 = 5m$$

$$t = 4s \Rightarrow s(4) = 20 - 5 \cdot 4 = 0$$

$$t = 5s \Rightarrow s(5) = 20 - 5 \cdot 5 = -5m$$



2)  $s(t) = 2 + 4t - t^2$  (SI)

$$t = 0 \Rightarrow s(0) = 2 + 4 \cdot 0 - 0^2 = 2m$$

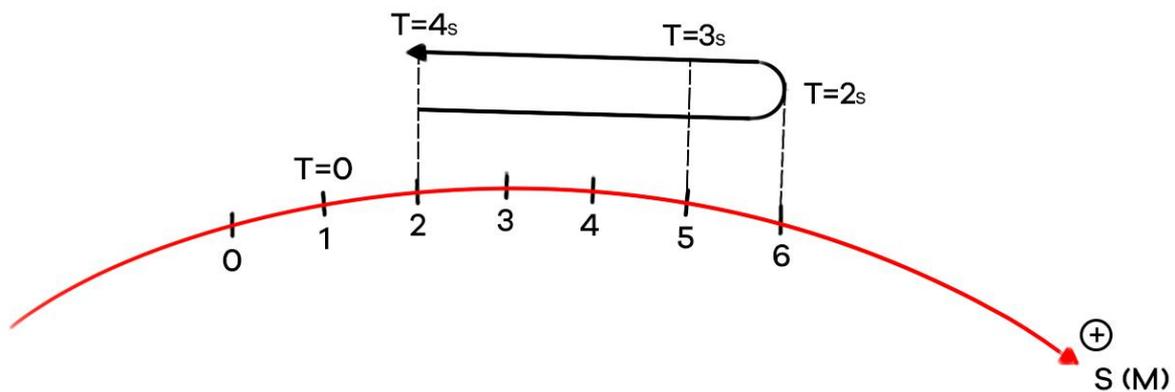
$$t = 1s \Rightarrow s(1) = 2 + 4 \cdot 1 - 1^2 = 5m$$

$$t = 2s \Rightarrow s(2) = 2 + 4 \cdot 2 - 2^2 = 6m$$



$$t = 3s \Rightarrow s(3) = 2 + 4 \cdot 3 - 3^2 = 5m$$

$$t = 4s \Rightarrow s(4) = 2 + 4 \cdot 4 - 4^2 = 2m$$



Observe que  $t = 0$  é chamado de origem dos tempos, definindo o momento do disparo do cronômetro do observador.

Se não conhecemos a função horária e conhecemos o espaço para cada instante de tempo, podemos determinar a função horária e a partir dela determinar o espaço para outros instantes.

Exemplo: vamos supor a seguinte relação de tempo e de espaço:

Tempo (s)	Espaço (m)
0	10
1	9
2	8
3	7

De acordo com os dados fornecidos, podemos concluir que a função horária do espaço é definida por:

$$s(t) = 10 - t$$

Neste momento, não estamos preocupados na matemática para chegar nesse resultado, apenas nos conceitos físicos. Futuramente, desenvolveremos todos os cálculos detalhadamente, mas não é difícil verificar que a relação do espaço-tempo é dada por aquela função do primeiro grau.

Se quisermos saber em qual instante corresponde ao  $s = 1\text{m}$ , basta resolvermos a seguinte equação:

$$s(t) = 1 \Rightarrow 10 - t = 1 \Rightarrow t = 9\text{s}$$



## 2.7. Variação de espaço e distância percorrida

Um erro comum entre os alunos é misturar os conceitos de *Variação de Espaço* e *Distância Percorrida*. Vejamos, de início, a definição de Variação de Espaço.

### 2.7.1. Variação do espaço

Seja  $s_1$  o espaço de um móvel num instante  $t_1$  e  $s_2$  seu espaço num instante  $t_2$ . A variação do espaço ( $\Delta s$ ) num intervalo de tempo  $\Delta t = t_2 - t_1$ , é definido como:

$$\Delta s = s_2 - s_1$$

Observações:

- Se  $s_2 > s_1$ , então  $\Delta s > 0$  e dizemos que o móvel se movimenta no sentido positivo da trajetória, aumentando o seu espaço.

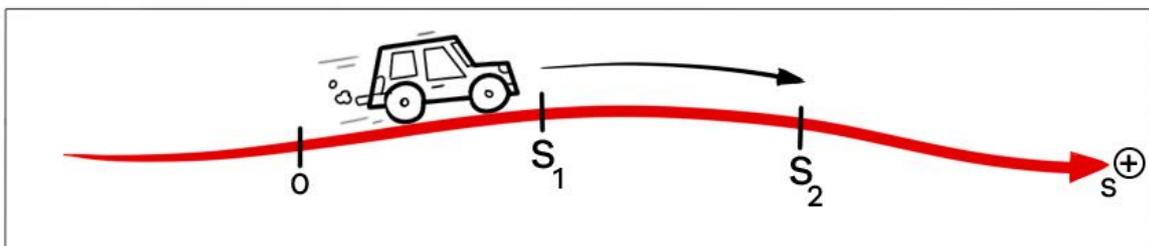


Figura 31: Se  $s_2 > s_1$ , então  $\Delta s > 0$

- Se  $s_2 < s_1$ , então  $\Delta s < 0$  e dizemos que o móvel se movimenta no sentido negativo da trajetória, diminuindo seu espaço.

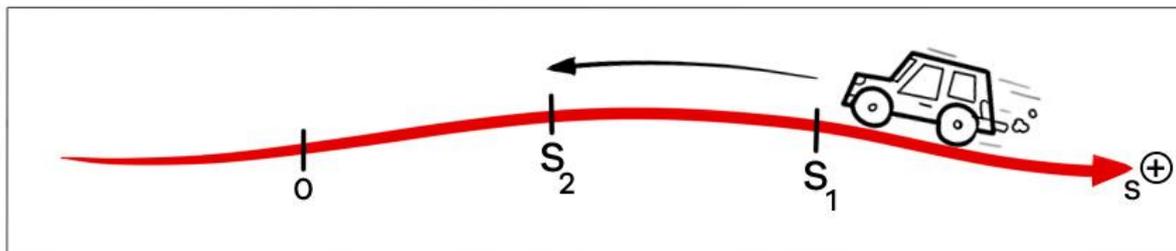


Figura 32: Se  $s_2 < s_1$ , então  $\Delta s < 0$

- Se  $s_2 = s_1$ , então  $\Delta s = 0$ , isto é, o corpo não se move ao longo da trajetória.

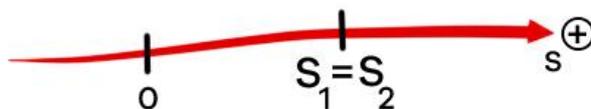


Figura 33: Se  $s_2 = s_1$ , então  $\Delta s = 0$

Observação: em Física, usamos a letra grega maiúscula delta ( $\Delta$ ), seguida de uma grandeza, para indicar a variação dessa, isto é, fazer a diferença entre os valores finais e iniciais desta grandeza.

### 2.7.2. Distância percorrida

Definimos a distância percorrida por um móvel como a soma dos módulos das variações de espaço em cada sentido do movimento.

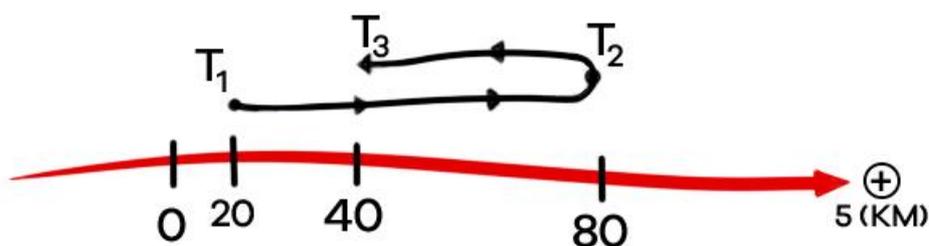
Vamos tomar um exemplo para ilustrar essa definição: um corpo vai de  $s_1 = 20 \text{ km}$  até  $s_2 = 80 \text{ km}$  e depois retorna a  $s_3 = 40 \text{ km}$ , assim temos que:

- $t_1 \rightarrow t_2: \Delta s_{1 \rightarrow 2} = s_2 - s_1 = 80 - 20 = 60 \text{ km}$
- $t_2 \rightarrow t_3: \Delta s_{2 \rightarrow 3} = s_3 - s_2 = 40 - 80 = -40 \text{ km}$
- $t_1 \rightarrow t_3: \Delta s_{1 \rightarrow 3} = s_3 - s_1 = 40 - 20 = 20 \text{ km}$

Note que  $\Delta s_{1 \rightarrow 3} = s_3 - s_1 = s_3 - s_2 + s_2 - s_1 = \Delta s_{1 \rightarrow 2} + \Delta s_{2 \rightarrow 3} = 60 + (-40) = 20 \text{ km}$

A partir da definição, temos que a distância percorrida é:

$$d = |\Delta s_{1 \rightarrow 2}| + |\Delta s_{2 \rightarrow 3}| = |60| + |-40| = 60 + 40 = 100 \text{ km}$$

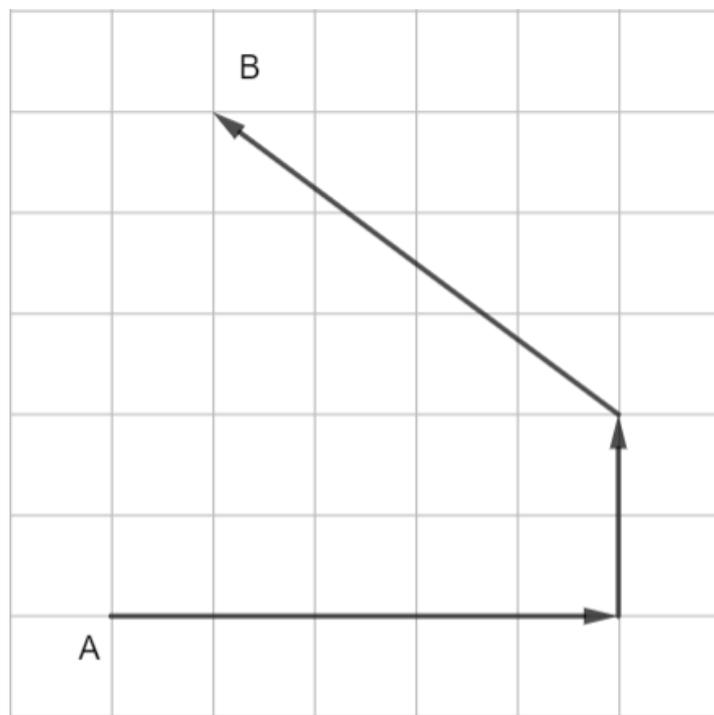


ESCLARECENDO!



4)

Uma pessoa parte da posição A e atinge a posição B percorrendo a trajetória indicada na figura. O lado de cada quadradinho representa uma distância de 100m. Qual a distância, em quilômetros, que a pessoa percorre? Qual foi o módulo da variação de espaço da pessoa?



#### Comentários:

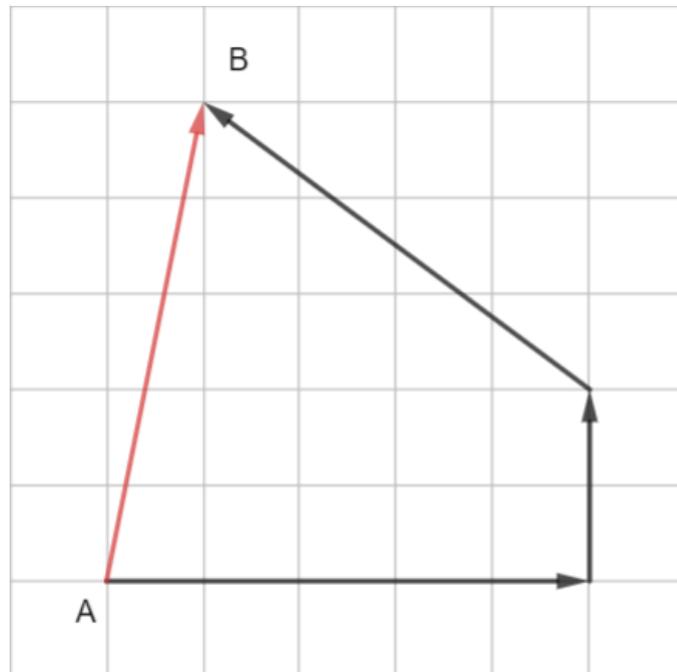
Para calcular a distância percorrida, devemos calcular o módulo do deslocamento de cada trecho. Primeiro trecho são 5 quadradinhos, logo, ele se deslocará  $5 \times 100 = 500m$ . Em seguida, ela desloca-se 2 quadradinhos para a vertical. Então, ela desloca  $2 \times 100 = 200m$ .

Finalmente, ela faz um deslocamento inclinado, formando a hipotenusa de um triângulo retângulo. Logo, pelo teorema de Pitágoras, temos:  $a^2 = 3^2 + 4^2 = 25 \Rightarrow a = 5$ . Esse triângulo é famoso e seus semelhantes também.

Logo, nesse trecho a pessoa andou  $5 \times 100 = 500m$ . Portanto, a distância percorrida ( $d$ ) pela pessoa foi  $d = 500 + 200 + 500 = 1200m \Rightarrow d = 1,2km$ . Para calcularmos a variação de espaço da pessoa, devemos pegar o módulo da variação de espaço entre A e B, isto é,  $\Delta s_{A \rightarrow B} = s_b - s_a$ . Dado que eles não estão no mesmo plano, precisamos fazer um tratamento vetorial.

Mas, como estamos apenas preocupados com o  $|\Delta \vec{s}_{A \rightarrow B}|$ , precisamos apenas calcular a hipotenusa do triângulo abaixo:





Pelo teorema de Pitágoras, temos que:  $|\Delta\vec{s}_{A\rightarrow B}|^2 = 1^2 + 5^2 = 26 \Rightarrow |\Delta\vec{s}_{A\rightarrow B}| = \sqrt{26}$ .  
Portanto, o módulo da variação de espaço da pessoa foi de  $100\sqrt{26}m$ .

## 2.8. Relação entre m/s e km/h

Diante da relação entre metros e quilômetros, segundos e horas, pode-se escrever uma relação entre as unidades e isto é fundamental para resolução de questões dos vestibulares, pois é comum misturar as unidades. Vamos ver como transformar as unidades:

$$1 \frac{km}{h} = \frac{1000m}{3600s} = \frac{1}{3,6} \frac{m}{s} \text{ ou } 1 \frac{m}{s} = 3,6 \frac{km}{h}$$

Diante desse resultado, notamos que cada  $1m/s$  corresponde a  $3,6km/h$ . Portanto:

$$\boxed{\frac{m}{s} \Rightarrow \frac{km}{h}} \Rightarrow \times 3,6$$

$$\boxed{\frac{km}{h} \Rightarrow \frac{m}{s}} \Rightarrow \div 3,6$$

Exemplos:

- $10m/s = 10 \times 3,6km/h = 36km/h$ ;
- $72km/h = 72/3,6 = 20m/s$ .

## 2.9. Velocidade escalar média

Considerando a variação de espaço de um ponto material dada por  $\Delta s = s_2 - s_1$ , durante o intervalo de tempo  $\Delta t = t_2 - t_1$ , define-se velocidade escalar média ( $v_m$ ), no intervalo de tempo  $\Delta t$ , como o quociente entre a variação de espaço e o correspondente intervalo de tempo:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Nota-se que  $\Delta t$  é sempre positivo. Por isso, concluímos que o sinal de  $v_m$  é o mesmo de  $\Delta s$ :

- Se  $\Delta s > 0 \Rightarrow v_m > 0$ ;
- Se  $\Delta s < 0 \Rightarrow v_m < 0$ ;
- Se  $\Delta s = 0 \Rightarrow v_m = 0$ .

No SI, a unidade de velocidade escalar é o metro por segundo ( $m/s$ ). Geralmente, surge a necessidade de transformar a unidade de  $cm/s$  ou  $km/h$  para  $m/s$ , conforme a relação vista no item anterior.

Naturalmente, carregamos desde cedo a noção de velocidade escalar média. Por exemplo, em uma viagem, quando um móvel percorre 200 km em 2 horas, rapidamente dizemos que ele percorreu, em média, 100 km a cada hora. Assim, afirmamos que a velocidade escalar média foi de **100km/h**. Note que não podemos afirmar que necessariamente o móvel percorreu nessa velocidade durante o deslocamento. Ele pode ter andado 110 km na primeira hora e 90 km na segunda hora, mas, na *média*, ele andou 100 km a cada hora.

Dessa forma, surge, naturalmente, a vontade de determinar essa velocidade a cada instante e para isso, precisa-se de uma ferramenta matemática mais forte: **a derivada**. No nosso curso não faremos um curso rigoroso de Cálculo, como vocês farão nos dois primeiros anos do ITA.

Entretanto, daremos apenas umas regrinhas e macetes de como aplicar. A derivada aplicada a cinemática é apenas uma ferramenta a mais para resolução de questões, mas não é uma necessidade. Vamos introduzir a derivada junto com o conceito de velocidade instantânea no próximo item.



ESCLARECENDO!



### 5) (FUVEST - 1992)

Em um prédio de 20 andares (além do térreo) o elevador leva 36 s para ir do térreo ao 20º andar. Uma pessoa no andar X chama o elevador, que está inicialmente no térreo, e 39,6 s após a chamada a pessoa atinge o andar térreo. Se não houve paradas intermediárias, e os tempos de abertura e fechamento da porta do elevador e de entrada e saída do passageiro são desprezíveis, podemos dizer que o andar X é o:

- a) 9º.
- b) 11º.
- c) 16º.
- d) 18º.
- e) 19º.

#### Comentários:

Podemos definir a velocidade do elevador como sendo a razão entre o número de andares pelo tempo:

$$v_m = \frac{n^\circ \text{ andares}}{\text{tempo}}$$

Logo, a velocidade escalar média desse elevador será:

$$v_m = \frac{20}{36} = \frac{5 \text{ andares}}{9 \text{ s}}$$

O elevador gastou 39,6 segundos para chegar até o andar dele e voltar para o térreo. Como o módulo da velocidade escalar do elevador é constante, podemos dizer que o mesmo tempo que ele leva para subir ele leva para descer. Logo, o elevador levou metade do tempo para subir, isto é, gastou 19,8 segundos.

Portanto, o número de andares que ele andou para subir foi:

$$\frac{5}{9} = \frac{n^\circ \text{ andares}}{19,8} \Rightarrow n^\circ \text{ andares} = 11$$

Portanto, a pessoa estava no 11º andar.

#### Gabarito B.

### 6) (VUNESP - 1991)



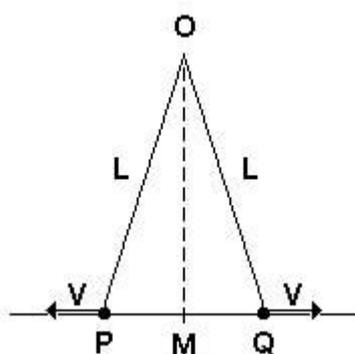
Num caminhão-tanque em movimento, uma torneira mal fechada goteja à razão de duas gotas por segundo. Determine a velocidade do caminhão, sabendo que a distância entre marcas sucessivas deixadas pelas gotas no asfalto é de 2,5m.

**Comentários:**

O caminhão deixa cair 2 gotas a cada 1s, logo, 1 gota a cada 0,5s. Portanto o intervalo de tempo entre duas gotas é de 0,5s. Dessa forma, a velocidade do caminhão pode ser calculada a partir das distâncias entre duas gotas, já que a gota sai com a mesma velocidade escalar horizontal do caminhão. Logo,  $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2,5}{0,5} = 5m/s$ .

**7) (FATEC - 1999)**

Considere a escada de abrir. Os pés P e Q se movem com velocidade constante, v.



O intervalo de tempo decorrido, desde o início da abertura, para que o triângulo POQ se torne equilátero será:

- a)  $\frac{L}{v}$       b)  $\frac{L}{2v}$       c)  $\frac{2L}{\sqrt{3}v}$       d)  $\frac{L}{4v}$       e)  $\frac{2L}{v}$

**Comentários:**

A escada inicialmente está fechada e vai abrir com velocidade constante na direção horizontal até se tornar um triângulo equilátero. Vamos analisar o ponto Q. Precisamos lembrar que um triângulo equilátero possui todos os lados iguais e o segmento OM divide o lado PQ ao meio.

Dessa forma, se colocarmos a origem do movimento no ponto M, temos que seu  $s_0$  está em M e depois seu  $s_1$  estará a uma distância  $\frac{L}{2}$  do ponto M, pois o triângulo se tornou um triângulo equilátero. Logo, seu  $\Delta s = \frac{L}{2}$ . Assim:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow v = \frac{\frac{L}{2}}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{L}{2v}$$

**Gabarito B.**

**8) (Fuvest 2008)**



Dirigindo-se a uma cidade próxima, por uma autoestrada plana, um motorista estima seu tempo de viagem, considerando que consiga manter uma velocidade média de  $90\text{km/h}$ . Ao ser surpreendido pela chuva, decide reduzir sua velocidade média para  $60\text{km/h}$ , permanecendo assim até a chuva parar, quinze minutos mais tarde, quando retoma sua velocidade média inicial. Essa redução temporária aumenta seu tempo de viagem, com relação à estimativa inicial, em:

- a) 5 min                      b) 7,5 min      c) 10 min      d) 15 min      e) 30 min

### Comentários:

Inicialmente, o móvel iria a  $90\text{km/h}$ , mas durante um intervalo de tempo de 15 min (que corresponde a  $\frac{1}{4}$  de hora), ele anda a  $60\text{km/h}$  por causa da chuva. Então para ver a diferença de tempo causado por essa chuva, basta vermos quanto ele andou durante esse tempo e calcular quanto seria o tempo caso ele não tivesse esse imprevisto. Dessa forma, temos que:

Deslocamento durante o intervalo de chuva:

$$v_{chuva} = \frac{\Delta s_{chuva}}{\Delta t_{chuva}} \Rightarrow 60 = \frac{\Delta s_{chuva}}{1/4} \Rightarrow \Delta s_{chuva} = 60 \cdot \frac{1}{4} = 15\text{ km}$$

Tempo para deslocar 15 km sem chuva:

$$v_{normal} = \frac{\Delta s_{chuva}}{\Delta t_{normal}} \Rightarrow 90 = \frac{15}{\Delta t_{normal}} \Rightarrow \Delta t_{normal} = \frac{15}{90} = \frac{1}{6}\text{ h} = 10\text{ min}$$

Logo, a diferença dos tempos é de 5 min.

### Gabarito A.

**Observação:** Nesta questão, a Fuvest não mencionou o tempo de desaceleração (quando ele sai de  $90\text{km/h}$  para  $60\text{km/h}$ ) e o tempo de aceleração do móvel (quando o móvel volta para  $90\text{km/h}$ ), simplificando a questão.

ESCLARECENDO!



### 9) (ITA)

Um automóvel faz a metade do seu percurso com velocidade média igual a  $40\text{km/h}$  e o restante com velocidade média de  $60\text{km/h}$ . Determine a velocidade média do carro no percurso total.

### Comentários:

Em primeiro momento, muitos alunos pensam em fazer a média aritmética das velocidades, mas veremos que não é a média aritmética das velocidades e, sim, a média harmônica. Para resolver essa questão, vamos considerar que todo o percurso seja de  $2d$  (isso é um truque para evitar frações), sendo que na primeira metade ( $d$ ) ele anda a uma velocidade  $v_1$ , gastando um tempo  $\Delta t_1$ . Na segunda metade ( $d$  também) ele anda a uma velocidade  $v_2$ , gastando um tempo  $\Delta t_2$ .

Sendo assim, ele anda uma distância total  $2d$  e cada trecho ele anda a uma velocidade, logo, gastará tempos distintos, de maneira que o tempo total é a soma dos tempos.

Logo, temos que:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2d}{\Delta t_1 + \Delta t_2}$$

Mas, precisamos conhecer uma relação entre as distâncias e os tempos. Para isso, vamos calcular quanto o móvel gasta em cada metade, já que ele está com velocidades distintas em cada trecho.

Tempo para a primeira metade:

$$v_1 = \frac{\Delta s_1}{\Delta t_1} \Rightarrow \Delta t_1 = \frac{d}{v_1}$$

Tempo para a segunda metade:

$$v_2 = \frac{\Delta s_2}{\Delta t_2} \Rightarrow \Delta t_2 = \frac{d}{v_2}$$

Assim, podemos substituir os tempos na equação da velocidade média:

$$v_m = \frac{2d}{\frac{d}{v_1} + \frac{d}{v_2}} \Rightarrow v_m = \frac{2d}{d\left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}\right)} \Rightarrow v_m = \frac{2}{\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}}$$

Substituindo os valores da questão, encontramos que:

$$v_m = \frac{2}{\frac{1}{40} + \frac{1}{60}} \Rightarrow v_m = \frac{2}{\frac{1}{40} + \frac{1}{60}} = \frac{2 \cdot 40 \cdot 60}{40 + 60} = \frac{2 \cdot 40 \cdot 60}{100} = 48 \text{ km/h}$$

Nesse momento, provamos que quando um móvel percorre um percurso que está dividido em  $n$  partes iguais com velocidades diferentes, a velocidade média do percurso total será a média harmônica das velocidades.

**Gabarito** 48 km/h.



Vale lembrar as principais médias da matemática:

**Média aritmética simples** de  $n$  termos:

$$M_A = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$$

**Média aritmética ponderada** de  $n$  termos, conhecendo os pesos  $(\alpha, \beta, \dots, \theta)$ :

$$M_P = \frac{\alpha \cdot a_1 + \beta \cdot a_2 + \dots + \theta \cdot a_n}{\alpha + \beta + \dots + \theta}$$

**Média geométrica** de  $n$  termos:

$$M_G = \sqrt[n]{a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_n}$$

**Média harmônica** de  $n$  termos:

$$M_H = \frac{n}{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \dots + \frac{1}{a_n}}$$

### 10) (UFPE)

Quatro cidades, A, B, C e D, estão dispostas de tal forma que as distâncias rodoviárias entre A e B, B e C, e C e D são, respectivamente,  $AB = 60$  km,  $BC = 100$  km e  $CD = 90$  km. Se um automóvel vai de A até B a uma velocidade escalar média de  $60$  km/h, da cidade B até C a uma velocidade escalar média de  $50$  km/h e de C até D a uma velocidade escalar média de  $45$  km/h, determine a velocidade média desse automóvel, em km/h, para o percurso de A até D.

#### Comentários:

Semelhante ao método aplicado na questão anterior, vamos calcular o tempo de cada trecho:

Tempo de AB:

$$\Delta t_{AB} = \frac{\Delta s_{AB}}{v_{AB}} = \frac{60}{60} = 1 \text{ h}$$

Tempo de BC:

$$\Delta t_{BC} = \frac{\Delta s_{BC}}{v_{BC}} = \frac{100}{50} = 2 \text{ h}$$

Tempo de CD:

$$\Delta t_{CD} = \frac{\Delta s_{CD}}{v_{CD}} = \frac{90}{45} = 2 \text{ h}$$

Dessa forma, o tempo total é  $\Delta t_T = 1 + 2 + 2 = 5 \text{ h}$ .

Portanto:

$$v_m = \frac{\Delta s_T}{\Delta t_T} = \frac{60+100+90}{5} = 50 \text{ km/h}$$

**Gabarito**  $50 \text{ km/h}$ .

INDO MAIS  
FUNDO!



## 2.10. Velocidade escalar instantânea

Como vimos anteriormente, a velocidade escalar média nos dá uma ideia geral do móvel ao longo de todo movimento. Se um móvel tem uma velocidade escalar média de 100 km/h, isso não implica dizer que ele andou nessa velocidade em cada instante. Nós apenas estamos dizendo que, em média, o automóvel andou 100 km a cada hora.

É comum, entretanto, estarmos interessados na velocidade escalar em cada instante. Para isso, definiremos o conceito de *velocidade escalar instantânea*.

Vamos analisar o seguinte exemplo: imagine que dois agentes de trânsito são encarregados de medir a velocidade com que os motoristas trafegam em uma avenida.

Colocamos os dois separados, inicialmente, com um  $\Delta s$  e quando o carro passa pelo primeiro, esse dispara o cronômetro e quando ele passa pelo segundo agente, o cronômetro é pausado. Definida a variação de espaço  $\Delta s$  e a variação de tempo  $\Delta t$ , podemos calcular a velocidade escalar média do carro, mas essa velocidade pode não ser condizente com a maior velocidade atingida pelo condutor.

O condutor pode ter visto de longe o segundo agente e freou o carro, fazendo uma velocidade mais alta no primeiro trecho e uma velocidade bem mais baixa no segundo trecho. Isso é possível porque a distância entre os agentes é grande. Para tirar essa possibilidade de frenagem, nos aproximamos os dois agentes.

Com isso, diminuirá também o intervalo de tempo gasto pelo motorista. E quando os agentes fizerem a razão  $\frac{\Delta s}{\Delta t}$ , essa velocidade tenderá ao real valor do motorista naquele instante.

Cada vez que o segundo agente se aproximar do primeiro, os registros de intervalos de tempos serão menores e mais próximo se estará da velocidade no instante em que o móvel passa pelo primeiro agente.

Dessa forma, fazendo uma abstração matemática, dizemos que quando o intervalo de tempo do móvel, para percorrer a variação de espaço, tende a zero, nós estamos aproximando a velocidade escalar média da velocidade escalar instantânea. Na linguagem matemática, dizemos que:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} v_m \Rightarrow v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}$$



Ao limite de  $\frac{\Delta s}{\Delta t}$  quando  $\Delta t$  tende a zero recebe o nome de derivada do espaço em relação ao tempo e indica-se por  $\frac{ds}{dt}$ . Dessa forma, podemos reescrever a equação da velocidade escalar instantânea como:

$$v = \frac{ds}{dt}$$

Escrever  $\frac{ds}{dt}$  é apenas uma representação matemática da derivada, não podemos confundir com a álgebra e fazer  $\frac{ds}{dt} = \frac{s}{t}$  já que existe  $d$  em cima e em baixo. Não é isso o significado de derivada.

A derivada é uma operação matemática e devem ser respeitadas as suas regras. Vamos fazer alguns exercícios para ilustrar um pouco mais.

### Exemplos:

1) Seja a equação horária do espaço  $s = 4t^2$  (SI). Calculemos a velocidade escalar instantânea para esse móvel. Para isso, devemos tomar dois instantes quaisquer e fazemos:

- Primeiro instante  $t \rightarrow s = 4t^2$  (1)
- Segundo instante  $t + \Delta t \rightarrow s + \Delta s = 4(t + \Delta t)^2$  (2)

Ao fazermos (2) – (1), vem:

$$\Delta s = 4[(t + \Delta t)^2 - t^2] = 4(t + \Delta t - t)(t + \Delta t + t) = 4(\Delta t)(\Delta t + 2t)$$

Podemos passar o  $\Delta t$  dividindo o  $\Delta s$ :  $\frac{\Delta s}{\Delta t} = 4(\Delta t + 2t) = 4\Delta t + 8t$

Assim, podemos calcular a velocidade escalar instantânea de acordo com a definição:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (4\Delta t + 8t)$$

Como  $\Delta t$  tende a zero, no limite temos que ele é zero. Logo, temos que:  $v = 8t$  (SI).

Dessa forma, dizemos que a derivada de  $s$  em relação ao tempo  $t$ , para a dada função  $s = 4t^2$  é  $v = 8t$ . Podemos afirmar ainda que a velocidade está variando com o tempo, segunda essa função  $v(t) = 8t$ . Nós chamamos  $v(t)$  de função horária da velocidade.

Analisando com mais cuidado o processo matemático realizado e o resultado obtido, podemos ver que ao derivarmos  $s = 4t^2$  nós multiplicamos o expoente (que no caso é 2) pelo coeficiente de  $t^2$  e diminuímos o expoente de  $t^2$  de uma unidade:

$$s = 4t^2 \Rightarrow v = \frac{ds}{dt} = 2 \cdot 4t^{2-1} = 8t$$

Esse processo é conhecido como regra do “tombo” para a derivada de uma função polinomial.

Generalizando:

$$\text{se } s = m \cdot t^n \Rightarrow v = \frac{ds}{dt} = n \cdot m \cdot t^{n-1}.$$

Observação: se um móvel está parado, sua posição não varia com o tempo, logo dizemos que  $s = C$ , onde  $C$  representa um número constante. Neste caso,  $\Delta s = 0$  em qualquer intervalo de tempo e, portanto, ao aplicar a definição de velocidade escalar instantânea, vemos que  $v = \frac{ds}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = 0$ . Resultado já esperado, pois, o móvel está parado. De fato, da matemática, a derivada de uma constante é nula.

- 2) Vamos calcular a velocidade escalar instantânea para a seguinte função horária do espaço  $s(t) = 6 + 4t + 3t^2$  (SI).

Aplicando a regra do tombo para cada parte da função  $s(t)$ :

$$v(t) = \frac{ds}{dt} = 0 + 1 \cdot 4 \cdot t^{1-1} + 2 \cdot 3 \cdot t^{2-1} = 4 + 6t \text{ (SI)}$$

- 3)  $s = 5t^4$  (SI)

$$v = \frac{ds}{dt} = 4 \cdot 5 \cdot t^{4-1} = 20t^3 \text{ (SI)}.$$

A aplicação de derivada para esses casos de funções horárias do espaço que, matematicamente representadas por funções polinomiais, são relativamente tranquilas e sua aplicação nos faz chegar rapidamente à função horária da velocidade.

ESCLARECENDO!



11)

Um ponto material está animado de um movimento cuja equação horária do espaço, em unidades do SI, é dada por:  $s = 4t^2 + 2t + 2$ . Qual a velocidade escalar no instante  $t = 3s$ ?

Comentários:

Aplicando o conceito de derivada, utilizando a regra do tombo, temos que:



$$v = \frac{ds}{dt} = 2.4 \cdot t^{2-1} + 1.2 \cdot t^{1-1} + 0 = 8t + 2 \Rightarrow v(t) = 8t + 2$$

Para  $t = 3s$  temos que:  $v(3) = 8 \cdot 3 + 2 = 26 \text{ m/s}$ .

12)

Sendo  $s = 5 - 5t + t^2$  a equação horária do espaço, em unidades SI, pede-se o instante em que a velocidade se anula.

**Comentários:**

Aplicando o conceito de derivada, utilizando a regra do tombo, temos que:

$$v = \frac{ds}{dt} = 0 - 1.5 \cdot t^{1-1} + 2.1 \cdot t^{2-1} \Rightarrow v(t) = 2t - 5$$

Quando a velocidade se torna nula, temos que:

$$v(t) = 0 \Rightarrow 2t - 5 = 0 \Rightarrow \boxed{t = 2,5 \text{ s}}$$

## 2.11. Movimento progressivo e retrógrado

Chamamos de **movimento progressivo** quando um móvel se desloca no sentido da orientação positiva da trajetória. Nesse caso,  $\Delta s > 0$  e podemos verificar que os espaços crescem com o decorrer do tempo. Além disso, como  $\Delta s > 0$  temos que  $v > 0$ , isto é, em qualquer intervalo de tempo a velocidade escalar é sempre positiva.

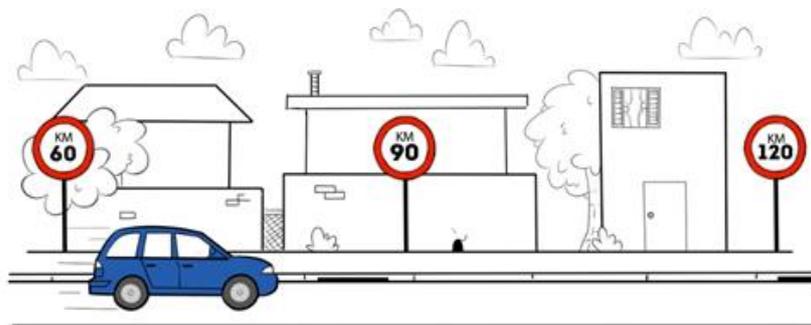


Figura 34: Movimento progressivo:  $\Delta s > 0$  e  $v > 0$ .

Por outro lado, chamamos de **movimento retrógrado** quando um móvel se desloca no sentido contrário ao da orientação. Nesse caso,  $\Delta s < 0$  e podemos verificar que os espaços decrescem com o decorrer do tempo. Além disso, como  $\Delta s < 0$  temos que  $v < 0$ , isto é, em qualquer intervalo de tempo a velocidade escalar é sempre negativa.

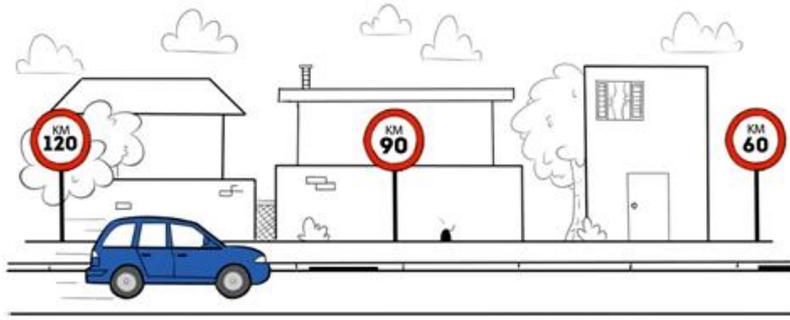


Figura 35: Movimento retrógrado:  $\Delta s < 0$  e  $v < 0$ .

ESCLARECENDO!



13)

Para quais valores de tempo o movimento descrito pela partícula, onde a trajetória é dada por  $s(t) = 4 + 6t - 2t^2$ , será progressivo? E retrógrado?

**Comentários:**

Utilizando o conceito de derivada e aplicando a regra do tombo, temos que:

$$v = \frac{ds}{dt} = 0 + 1.6. t^{1-1} - 2.2. t^{2-1} \Rightarrow v(t) = 6 - 4t$$

Para o caso de movimento progressivo, temos que:

$$v > 0 \Rightarrow 6 - 4t > 0 \Rightarrow 4t < 6 \Rightarrow t < 1,5 \text{ s}$$

Para o caso de movimento retrógrado, temos que:

$$v < 0 \Rightarrow 6 - 4t < 0 \Rightarrow 4t > 6 \Rightarrow t > 1,5 \text{ s}$$

Para o caso de  $t = 1,5 \text{ s}$ , a velocidade da partícula será nula, pois:  $v(1,5) = 6 - 4.1,5 = 0$ .



## 2.12. Lista de exercícios

### 1. (Fuvest - 2007)

Um passageiro, viajando de metrô, fez o registro de tempo entre duas estações e obteve os valores indicados na tabela.

	Chegada	Partida
Vila Maria	0:00 min	1:00 min
Felicidade	5:00 min	6:00 min



Supondo que a velocidade média entre duas estações consecutivas seja sempre a mesma e que o trem pare o mesmo tempo em qualquer estação da linha, de 15 km de extensão, é possível estimar que um trem, desde a partida da Estação Bosque até a chegada à Estação Terminal, leva aproximadamente:

- a) 20 min.
- b) 25 min.
- c) 30 min.
- d) 35 min.
- e) 40 min.

### 2. (UNEB-1998)

Um fazendeiro percorre, com seu jeep, os limites de sua fazenda, que tem o formato de um losango, com os lados aproximadamente iguais. Devido às peculiaridades do terreno, cada lado foi percorrido com uma velocidade média diferente: o primeiro a 20KM/h, o segundo a 30 Km/h, o terceiro a 40Km/h e, finalmente, o último a 60Km/h.

A velocidade média desenvolvida pelo fazendeiro para percorrer todo o perímetro da fazenda, em km/h, foi de:

- a) 50
- b) 42



- c) 38
- d) 36
- e) 32

**3. (UFSM 2002)**

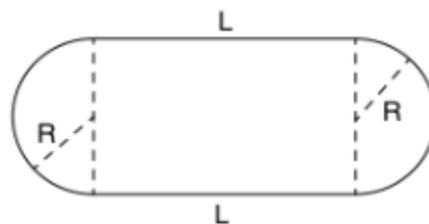
Um motoqueiro obtém velocidades médias ( $v$ ) e ( $kv$ ) na primeira metade e no percurso todo, respectivamente, onde  $k$  é uma constante positiva. Se  $kv \neq 0$ , é correto afirmar que:

- 01. a velocidade média, na segunda metade do percurso, foi igual a  $k$ .
- 02. a velocidade média, na segunda metade do percurso, foi  $[(1 + K)v]/2$ .
- 04. é impossível que se tenha  $K = 2$ .
- 08. o tempo gasto, no percurso todo, foi o dobro daquele gasto na primeira metade.
- 16. é impossível determinar a razão entre os tempos gastos na primeira e na segunda metade.

Soma:

**4. (UEL-2010)**

Um ciclista descreve uma volta completa em uma pista que se compõe de duas retas de comprimento  $L$  e duas semicircunferências de raio  $R$  conforme representado na figura a seguir.



A volta dá-se de forma que a velocidade escalar média nos trechos retos seja  $v$  e nos trechos curvos seja  $2v/3$ . O ciclista completa a volta com uma velocidade escalar média em todo o percurso igual a  $4v/5$ . A partir dessas informações, é correto afirmar que o raio dos semicírculos é dado pela expressão:

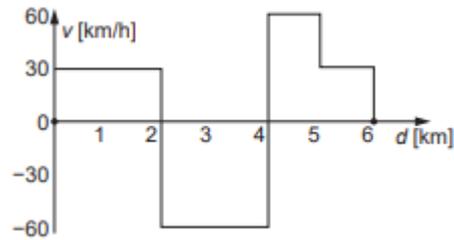
- a)  $L = \pi R$
- b)  $L = \frac{\pi R}{2}$
- c)  $L = \frac{\pi R}{3}$
- d)  $L = \frac{\pi R}{4}$
- e)  $L = \frac{3\pi R}{2}$



**5. (ITA 2017)**



Um automóvel percorre um trecho retilíneo de uma rodovia. A figura mostra a velocidade do carro em função da distância percorrida, em km, indicada no odômetro. Sabendo que a velocidade escalar média no percurso é de 36 km/h, assinale respectivamente o tempo total dispendido e a distância entre os pontos inicial e final do percurso.



- a) 9 min e 2 km
- b) 10 min e 2 km
- c) 15 min e 2 km
- d) 15 min e 3 km
- e) 20 min e 2 km

**6. (ITA 1978)**

Um motorista deseja perfazer a distância de 20 km com velocidade escalar média de 80 km/h. Se viajar durante os primeiros 15 minutos com velocidade de 40 km/h, com que velocidade escalar média deverá fazer o percurso restante?

- a) 120 km/h
- b) 160 km/h
- c) É impossível estabelecer a velocidade média desejada nas circunstâncias apresentadas
- d) Nula
- e) Nenhuma das afirmações acima é correta

**7.**

São dados um navio N e um porto P; o navio movendo-se sobre a reta PN com velocidade  $v_N$ . Do porto emite-se um sinal sonoro breve simultaneamente na água e no ar; ele se propaga com velocidades  $v_1$  e  $v_2$  através da água e do ar, respectivamente. No navio, os sons incidentes através da água e do ar são recebidos em instantes separados por um intervalo de tempo  $\Delta t$ . A distância D que separa o navio do porto, no instante em que é recebido o sinal transmitido pela água, vale:

- a)  $D = \frac{v_1 v_2}{v_1 - v_2} \cdot \left(1 + \frac{v_N}{v_2}\right) \Delta t$
- b)  $D = \frac{v_1 v_2}{v_1 + v_2} \cdot \left(1 - \frac{v_N}{v_2}\right) \Delta t$
- c)  $D = \frac{v_1 v_2}{v_1 - v_2} \cdot \left(1 - \frac{v_N}{v_2}\right) \Delta t$
- d)  $D = \frac{v_1 v_2}{v_1 - v_2} \cdot \left(1 - \frac{v_N}{v_1}\right) \Delta t$



$$e) D = \frac{v_1 v_2}{v_1 - v_2} \cdot \left(1 + \frac{v_2}{v_N}\right) \Delta t$$

8.

São dadas duas localidades A e B interligadas por rodovia sensivelmente reta; a distância entre as duas cidades é D. O transporte de passageiros de uma localidade à outra pode ser feito por automóvel (velocidade média  $v_1$ ) ou por avião (velocidade média  $v_2$  desconhecida). Junto à rodovia há, entre A e B, uma localidade C à distância X (incógnita) de A. Um automóvel e um avião partem simultaneamente de A com destino a B. No mesmo instante em que o automóvel passa por C, o avião atinge B. Mais tarde, ambos os móveis partem simultaneamente de B com destino a A. O avião atinge A com antecedência “K” em relação ao instante em que o carro passa por C. Os valores de  $v_2$  e X valem respectivamente:

a)  $\frac{Dv_1}{D-kv_1}$  e  $\frac{D-kv_1}{2}$

b)  $\frac{Dv_1}{D-2kv_1}$  e  $\frac{D-kv_1}{2}$

c)  $\frac{2Dv_1}{D-kv_1}$  e  $\frac{D-kv_1}{2}$

d)  $\frac{Dv_1}{2D+kv_1}$  e  $\frac{D+kv_1}{2}$

e)  $\frac{4Dv_1}{D-kv_1}$  e  $D - 2kv_1$

9. (ITA)

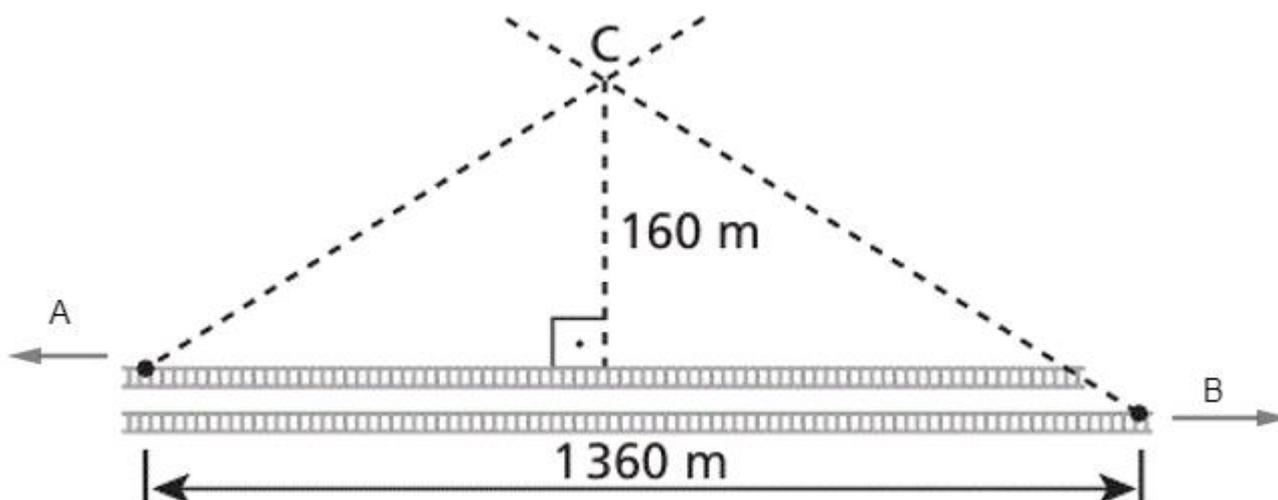
Um avião voando horizontalmente a 4000 m de altura numa trajetória retilínea com velocidade constante passou por um ponto A e depois por um ponto B situado a 3000 m do primeiro. Um observador no solo, parado no ponto verticalmente abaixo de B, começou a ouvir o som do avião, emitido em A, 4,00 segundos antes de ouvir o som proveniente de B. Se a velocidade do som no ar era de 320 m/s, qual era velocidade do avião?

- a) 960 m/s
- b) 750 m/s
- c) 390 m/s
- d) 421 m/s
- e) 292 m/s

10. (ITA-1991)

A figura representa uma vista aérea de um trecho retilíneo de ferrovia. Duas locomotivas a vapor, A e B, deslocam-se em sentidos contrários com velocidades constantes de 50,4 km/h e 72 km/h, respectivamente. Uma vez que AC corresponde ao rastro da fumaça do trem A, BC ao rastro da fumaça do trem B e que  $AC = BC$ , determine a velocidade do vento. Despreze a distância entre os trilhos de A e B.





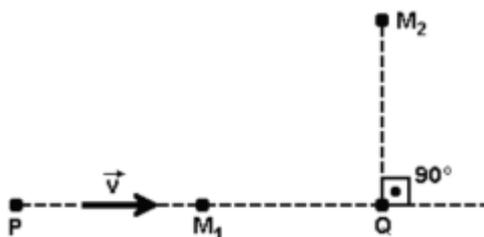
- a) 5,00 m/s
- b) 4,00 m/s
- c) 17,5 m/s
- d) 18,0 m/s
- e) 14,4 m/s

**11. (Renato Brio - Fundamentos de Mecânica)**

A partir de um ponto A dá-se um tiro em um alvo B. Um observador em C, muitíssimo próximo à reta AB, situado entre A e B à distância  $d$  do ponto A, mediu o tempo  $\Delta t$  que decorreu entre o instante em que ele ouviu o tiro e o instante em que ele ouviu o impacto do projétil no alvo. Sendo  $v_p$  e  $v_s$  as velocidades do projétil e do som, respectivamente, determine a distância entre os pontos A e B.

**12. (ITA-2007)**

Considere que num tiro de revólver, a bala percorre trajetória retilínea com velocidade  $V$  constante, desde o ponto inicial P até o alvo Q. Mostrados na figura abaixo, o aparelho  $M_1$  registra simultaneamente o sinal sonoro do disparo e o do impacto da bala no alvo, o mesmo ocorrendo com o aparelho  $M_2$ . Sendo  $V_s$  a velocidade do som no ar, então a razão entre as respectivas distâncias dos aparelhos  $M_1$  e  $M_2$  em relação ao alvo Q é:



a)  $\frac{V_s(V - V_s)}{V_s^2 - V^2}$



b)  $\frac{V_s(V_s - V)}{V^2 - V_s^2}$

c)  $\frac{V(V - V_s)}{V_s^2 - V^2}$

d)  $\frac{V_s(V + V_s)}{V^2 - V_s^2}$

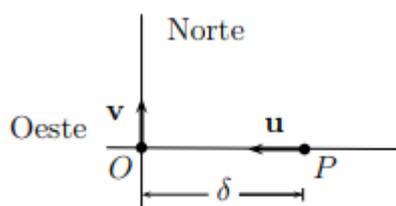
e)  $\frac{V_s(V - V_s)}{V^2 + V_s^2}$

**13. (Saraeva)**

De Moscou a Pushkino com um intervalo  $t = 10 \text{ min}$  saíram dois trens elétricos com velocidades  $v = 30 \text{ km/h}$ . Com que velocidade  $u$  movia-se um trem em direção a Moscou, uma vez que encontrou os trens elétricos a um intervalo  $t_1 = 4 \text{ min}$ , um depois do outro?

**14. (ITA - 2013)**

Ao passar pelo ponto O, um helicóptero segue na direção norte com velocidade  $v$  constante. Nesse momento, um avião passa pelo ponto P, a uma distância  $\delta$  de O, e voa para o oeste, em direção a O, com velocidade  $u$  também constante, conforme mostra a figura. Considerando  $t$  o instante em que a distância  $d$  entre o helicóptero e o avião for mínima, assinale a alternativa correta.



a) A distância percorrida pelo helicóptero no instante em que o avião alcança o ponto O é

$\frac{\delta u}{v}$ .

b) A distância do helicóptero ao ponto O no instante  $t$  é igual a  $\frac{\delta v^2}{u^2 + v^2}$ .

c) A distância do avião ao ponto O no instante  $t$  é igual a  $\frac{\delta v^2}{v^2 + u^2}$ .

d) O instante  $t$  é igual a  $\frac{\delta v}{v^2 + u^2}$ .

e) A distância  $d$  é igual a  $\frac{\delta u}{\sqrt{v^2 + u^2}}$ .



**15. (Saraeva)**

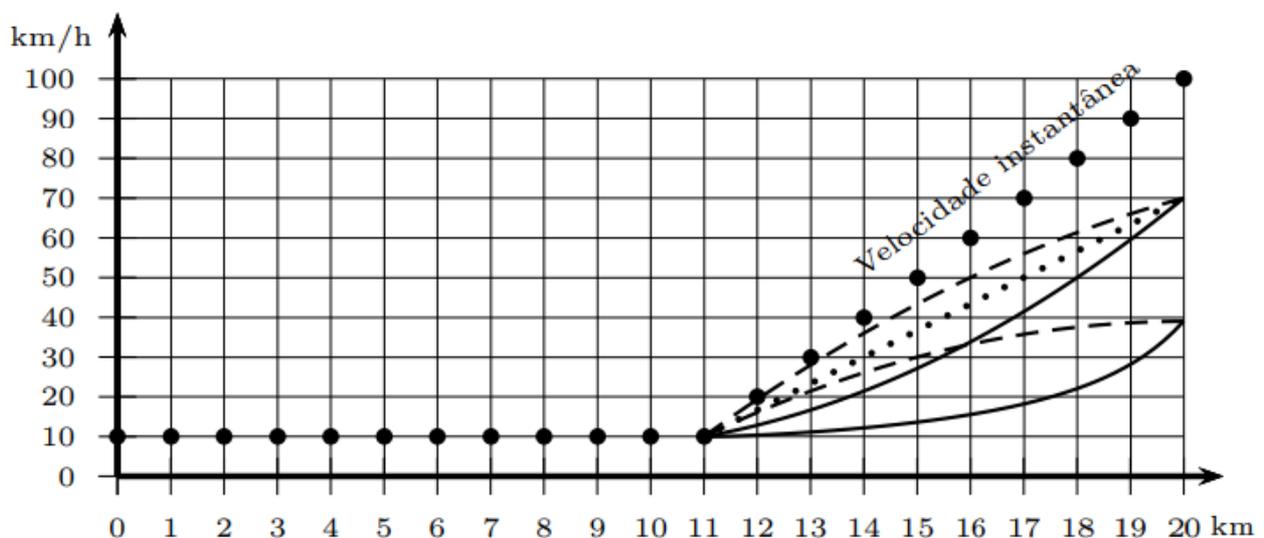
Três turistas, que possuem bicicleta, devem chegar ao centro turístico o menor espaço de tempo) o tempo conta-se até que o último turista chegue ao centro). A bicicleta pode

transportar duas pessoas e por isso o terceiro turista deve ir a pé. Um ciclista leva o segundo turista até um determinado ponto do caminho, de onde este continua a andar a pé e o ciclista regressa para transportar o terceiro. Encontre a velocidade média dos turistas, sendo a velocidade do que vai a pé  $v_1 = 4 \text{ km/h}$  e a do ciclista  $v_2 = 20 \text{ km/h}$ .



### 16. (ITA 2018)

Os pontos no gráfico indicam a velocidade instantânea, quilometro a quilometro, de um carro em movimento retilíneo. Por sua vez, o computador de bordo do carro calcula a velocidade média dos últimos 9 km por ele percorridos. Então, a curva que melhor representa a velocidade média indicada no computador de bordo entre os quilômetros 11 e 20 é



- a) a tracejada que termina acima de 50 km/h.
- b) a cheia que termina acima de 50 km/h.
- c) a tracejada que termina abaixo de 50 km/h.
- d) a pontilhada.
- e) a cheia que termina abaixo de 50 km/h.

GABARITO



## 2.13. Gabarito

1. d
2. e
3. 04
4. a
5. b
6. c
7. c
8. c
9. d
10. a
11.  $\frac{v_p}{v_p+v_s} \cdot (v_s \cdot \Delta t + 2d)$
12. a
13. **45 km/h**
14. c
15. **10 km/h**
16. e



ESCLARECENDO!

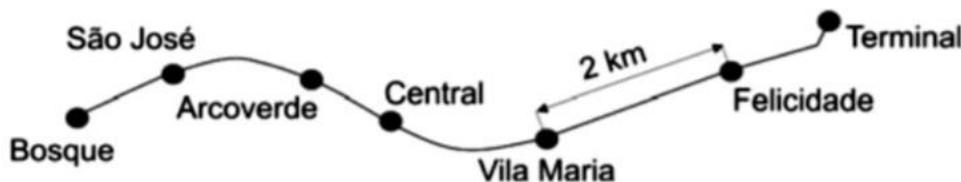


## 2.14. Questões comentadas

### 1. (Fuvest 2007)

Um passageiro, viajando de metrô, fez o registro de tempo entre duas estações e obteve os valores indicados na tabela.

	Chegada	Partida
Vila Maria	0:00 min	1:00 min
Felicidade	5:00 min	6:00 min



Supondo que a velocidade média entre duas estações consecutivas seja sempre a mesma e que o trem pare o mesmo tempo em qualquer estação da linha, de 15 km de extensão, é possível estimar que um trem, desde a partida da Estação Bosque até a chegada à Estação Terminal, leva aproximadamente:

- a) 20 min.
- b) 25 min.
- c) 30 min.
- d) 35 min.
- e) 40 min.

#### Comentários:

Vamos calcular a velocidade média do trem, dado que, ele anda 2 km (de Vila Maria a Felicidade) em 4 min, de acordo com a tabela.

$$v_{trem} = \frac{2}{\frac{4}{60}} = 30 \text{ km/h}$$

Com isso, podemos calcular o tempo gasto para o trem sair da Bosque até a Terminal:

$$\Delta t = \frac{15}{30} = 0,5 \text{ h} = 30 \text{ min}$$



Entretanto, devemos lembrar que o trem fica 1 min parado nas estações até chegar na Terminal, isto é, ele gasta um minuto nas estações de São José até a Felicidade, ou seja, mais 5 minutos.

Então, o tempo total será de 35 minutos.

**Gabarito: D**

---

## 2. (UNEB-1998)

Um fazendeiro percorre, com seu jeep, os limites de sua fazenda, que tem o formato de um losango, com os lados aproximadamente iguais. Devido às peculiaridades do terreno, cada lado foi percorrido com uma velocidade média diferente: o primeiro a 20KM/h, o segundo a 30 Km/h, o terceiro a 40Km/h e, finalmente, o último a 60Km/h.

A velocidade média desenvolvida pelo fazendeiro para percorrer todo o perímetro da fazenda, em km/h, foi de:

- a) 50
- b) 42
- c) 38
- d) 36
- e) 32

**Comentários:**

Como visto em teoria, se um móvel percorre distâncias iguais, com velocidades diferentes, a velocidade média é dada pela média harmônica das velocidades, logo, temos que:

$$v_m = \frac{4}{\frac{1}{20} + \frac{1}{30} + \frac{1}{40} + \frac{1}{60}} = 32 \text{ km/h}$$

**Gabarito: E**

---

## 3. (UFSM 2002)

Um motoqueiro obtém velocidades médias ( $v$ ) e ( $kv$ ) na primeira metade e no percurso todo, respectivamente, onde  $k$  é uma constante positiva. Se  $kv \neq 0$ , é correto afirmar que:

- 01. a velocidade média, na segunda metade do percurso, foi igual a  $k$ .
- 02. a velocidade média, na segunda metade do percurso, foi  $[(1 + K)v]/2$ .
- 04. é impossível que se tenha  $K = 2$ .
- 08. o tempo gasto, no percurso todo, foi o dobro daquele gasto na primeira metade.
- 16. é impossível determinar a razão entre os tempos gastos na primeira e na segunda metade.



Soma:

### Comentários:

Novamente, sabemos que a velocidade média do percurso todo é:

$$v_m = \frac{2}{\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}} \Rightarrow kv = \frac{2}{\frac{1}{v} + \frac{1}{v_2}} \Rightarrow \frac{1}{v_2} = \frac{2}{kv} - \frac{1}{v} \Rightarrow v_2 = \frac{k}{2-k} \cdot v$$

Assim, podemos ver de imediato que as duas primeiras afirmações são falsas, e a informação (04) é verdadeira, pois, para  $k = 2$  não podemos definir  $v_2$ , ela seria tão grande quanto queiramos, quando  $k$  tende a 2.

Tempo para a primeira metade:  $\Delta t_1 = \frac{d}{v}$  (considere que o caminho todo tenha uma distância  $2d$  para não ficar trabalhando com frações).

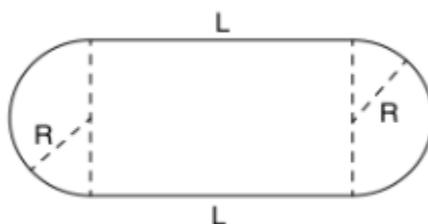
$$\text{Tempo para a segunda metade: } \Delta t_2 = \frac{d}{\frac{kv}{2-k}}$$

Portanto, a relação dos tempos é dada por:  $\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = \frac{2-k}{k}$ . Logo, as duas últimas afirmações estão erradas também. Dessa forma, a única afirmativa correta é a 04. Portanto, soma igual a 04.

**Gabarito: 04**

#### 4. (UEL-2010)

Um ciclista descreve uma volta completa em uma pista que se compõe de duas retas de comprimento  $L$  e duas semicircunferências de raio  $R$  conforme representado na figura a seguir.



A volta dá-se de forma que a velocidade escalar média nos trechos retos seja  $v$  e nos trechos curvos seja  $2v/3$ . O ciclista completa a volta com uma velocidade escalar média em todo o percurso igual a  $4v/5$ . A partir dessas informações, é correto afirmar que o raio dos semicírculos é dado pela expressão:

a)  $L = \pi R$

b)  $L = \frac{\pi R}{2}$



$$c) L = \frac{\pi R}{3}$$

$$d) L = \frac{\pi R}{4}$$

$$e) L = \frac{3\pi R}{2}$$

**Comentários:**

A velocidade média de uma volta é dada por:

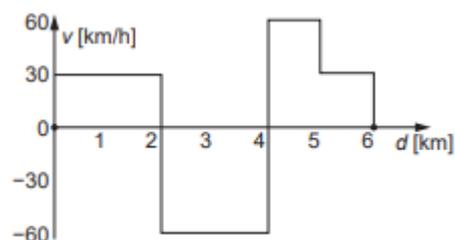
$$v_m = \frac{2L + 2\pi R}{\frac{L}{v} + \frac{L}{v} + \frac{\pi R}{\frac{2}{3}v} + \frac{\pi R}{\frac{2}{3}v}} \Rightarrow \frac{4v}{5} = \frac{2(L + \pi R)}{\frac{2L}{v} + \frac{3\pi R}{v}} \Rightarrow \frac{8}{5}L + \frac{12\pi}{5}R = 2L + 2\pi R \Rightarrow \frac{2}{5}L = \frac{2\pi}{5}R \Rightarrow$$

$$\therefore L = \pi R$$

**Gabarito: A**

**5. (ITA 2017)**

Um automóvel percorre um trecho retilíneo de uma rodovia. A figura mostra a velocidade do carro em função da distância percorrida, em km, indicada no odômetro. Sabendo que a velocidade escalar média no percurso é de 36 km/h, assinale respectivamente o tempo total dispendido e a distância entre os pontos inicial e final do percurso.



- a) 9 min e 2 km
- b) 10 min e 2 km
- c) 15 min e 2 km
- d) 15 min e 3 km
- e) 20 min e 2 km

**Comentários:**

Analisando o gráfico, observamos que o móvel percorre 2 km para frente e 2 km para trás, retornando para a posição inicial. Depois, ele percorre dois trechos para frente, ambos de 1 km. Dessa forma, o  $\Delta s$  do percurso é dado por  $\Delta s = s_{final} - s_{inicial} = 2 \text{ km}$ .

Entretanto, a distância percorrida pelo móvel é o módulo dos deslocamentos, isto é:



$$d = |\Delta s_{0 \rightarrow 2}| + |\Delta s_{2 \rightarrow 4}| + |\Delta s_{4 \rightarrow 6}| = 2 + 2 + 2 = 6.$$

Para o percurso todo, temos que:  $v_m = \frac{d}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{6}{36} = \frac{1}{6} h = 10 \text{ min.}$

Se contarmos o tempo para cada trecho, podemos calcular o tempo total também:

$$\Delta t = \frac{2}{30} + \frac{2}{60} + \frac{1}{60} + \frac{1}{30} = \frac{9}{60} h = 9 \text{ min}$$

Portanto, concluímos que o móvel esteve parado por 1 min.

Observação: a rigor, a velocidade escalar média é definida pela razão entre a variação de posição  $\Delta s$  e a variação do tempo  $\Delta t$ . Assim, teríamos que:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{2}{36} = 3 \text{ min } 20 \text{ s}$$

**Gabarito: B**

## 6. (ITA 1978)

Um motorista deseja perfazer a distância de 20 km com velocidade escalar média de 80 km/h. Se viajar durante os primeiros 15 minutos com velocidade de 40 km/h, com que velocidade escalar média deverá fazer o percurso restante?

- a) 120 km/h
- b) 160 km/h
- c) É impossível estabelecer a velocidade média desejada nas circunstâncias apresentadas
- d) Nula
- e) Nenhuma das afirmações acima é correta

### Comentários:

A distância total é de 20 km. Se ele viajar durante 15 min com velocidade de 40 km/h, ele deslocará:

$$\Delta s_1 = 40 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{15}{60} h = 10 \text{ km}$$

Logo, restarão 10 km. Nestes últimos 10 km ele deverá andar a uma velocidade que compensará o fato dele andar mais lento no primeiro trecho de forma que a velocidade escalar média ( $v_m$ ) dele nos 20 km seja 80 km/h. Então, vamos calcular  $v_m$ :

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow 80 = \frac{20}{\frac{15}{60} + \Delta t_2}$$



$$\Rightarrow \frac{15}{60} + \Delta t_2 = \frac{20}{80} \Rightarrow \frac{1}{4} + \Delta t_2 = \frac{1}{4}$$

$$\Rightarrow \Delta t_2 = 0$$

Perceba que para ele andar 20 km com a velocidade de 80 km/h, ele gasta 1/4 de hora, tempo que ele já gastou nos 10 km iniciais. Portanto, não é possível estabelecer uma velocidade média nestas circunstâncias.

**Gabarito: C**

**7.**

São dados um navio N e um porto P; o navio movendo-se sobre a reta PN com velocidade  $v_N$ . Do porto emite-se um sinal sonoro breve simultaneamente na água e no ar; ele se propaga com velocidades  $v_1$  e  $v_2$  através da água e do ar, respectivamente. No navio, os sons incidentes através da água e do ar são recebidos em instantes separados por um intervalo de tempo  $\Delta t$ . A distância D que separa o navio do porto, no instante em que é recebido o sinal transmitido pela água, vale:

a)  $D = \frac{v_1 v_2}{v_1 - v_2} \cdot \left(1 + \frac{v_N}{v_2}\right) \Delta t$

b)  $D = \frac{v_1 v_2}{v_1 + v_2} \cdot \left(1 - \frac{v_N}{v_2}\right) \Delta t$

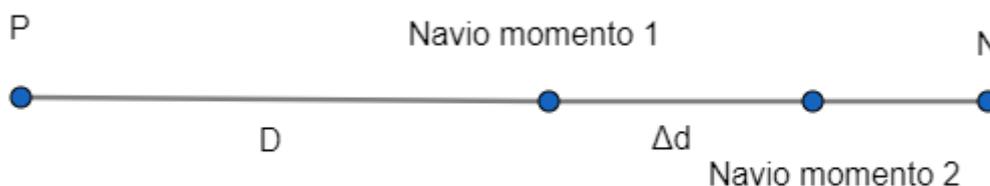
c)  $D = \frac{v_1 v_2}{v_1 - v_2} \cdot \left(1 - \frac{v_N}{v_2}\right) \Delta t$

d)  $D = \frac{v_1 v_2}{v_1 - v_2} \cdot \left(1 - \frac{v_N}{v_1}\right) \Delta t$

e)  $D = \frac{v_1 v_2}{v_1 - v_2} \cdot \left(1 + \frac{v_2}{v_N}\right) \Delta t$

**Comentários:**

Vamos fazer um desenho esquemático do nosso problema.



Devido ao fato do som se propagar com uma velocidade maior na água, o som chega primeiro na água, o navio ainda desloca até o som chegar pelo ar. Então, temos que:

$$\Delta t_{\text{agua}} = \frac{D}{v_1}$$

Tempo para o som chegar no navio pelo ar:



$$\Delta t_{ar} = \frac{D + \Delta d}{v_2}$$

Diferença dos tempos desejada:

$$\Delta t = \Delta t_{ar} - \Delta t_{agua}$$

Deslocamento do navio:

$$\Delta d = v_N \cdot \Delta t$$

Assim, combinando as equações, podemos dizer que:

$$\Delta t = \frac{D}{v_2} + \frac{v_N}{v_2} \cdot \Delta t - \frac{D}{v_1} \Rightarrow \boxed{D = \frac{v_1 v_2}{v_1 - v_2} \left(1 - \frac{v_N}{v_2}\right) \Delta t}$$

**Gabarito: C**

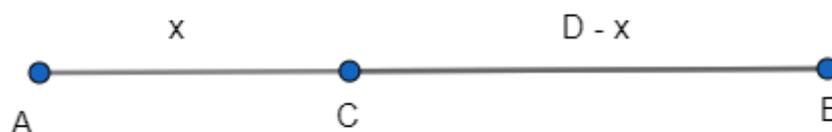
**8.**

São dadas duas localidades A e B interligadas por rodovia sensivelmente reta; a distância entre as duas cidades é D. O transporte de passageiros de uma localidade à outra pode ser feito por automóvel (velocidade média  $v_1$ ) ou por avião (velocidade média  $v_2$  desconhecida). Junto à rodovia há, entre A e B, uma localidade C à distância X (incógnita) de A. Um automóvel e um avião partem simultaneamente de A com destino a B. No mesmo instante em que o automóvel passa por C, o avião atinge B. Mais tarde, ambos os móveis partem simultaneamente de B com destino a A. O avião atinge A com antecedência "K" em relação ao instante em que o carro passa por C. Os valores de  $v_2$  e X valem respectivamente:

- a)  $\frac{Dv_1}{D-kv_1}$  e  $\frac{D-kv_1}{2}$
- b)  $\frac{Dv_1}{D-2kv_1}$  e  $\frac{D-kv_1}{2}$
- c)  $\frac{2Dv_1}{D-kv_1}$  e  $\frac{D-kv_1}{2}$
- d)  $\frac{Dv_1}{2D+kv_1}$  e  $\frac{D+kv_1}{2}$
- e)  $\frac{4Dv_1}{D-kv_1}$  e  $D - 2kv_1$

**Comentários:**

Como de costume, vamos esquematizar nosso problema:



Na primeira parte do problema, os dois estão indo em direção a B. Dessa forma, escrevemos que:

$$\Delta t_{\text{carro}} = \frac{x}{v_1} = \Delta t_{\text{aviao}} = \frac{D}{v_2}$$

Na segunda parte, os dois estão indo em direção a  $A$ . O avião (mais veloz) chega ao ponto  $A$  com  $k$  de antecedência com que o carro chega ao ponto  $C$ . Podemos equacionar da seguinte forma:

$$\Delta t_{\text{aviao}} + k = \Delta t_{\text{carro}}$$

$$\frac{D - x}{v_1} = k + \frac{x}{v_1}$$

$$x = \frac{D - kv_1}{2}$$

Logo, podemos encontrar o valor da velocidade do avião:

$$\frac{x}{v_1} = \frac{D}{v_2} \Rightarrow v_2 = \frac{2Dv_1}{D - kv_1}$$

**Gabarito: C**

## 9. (ITA)

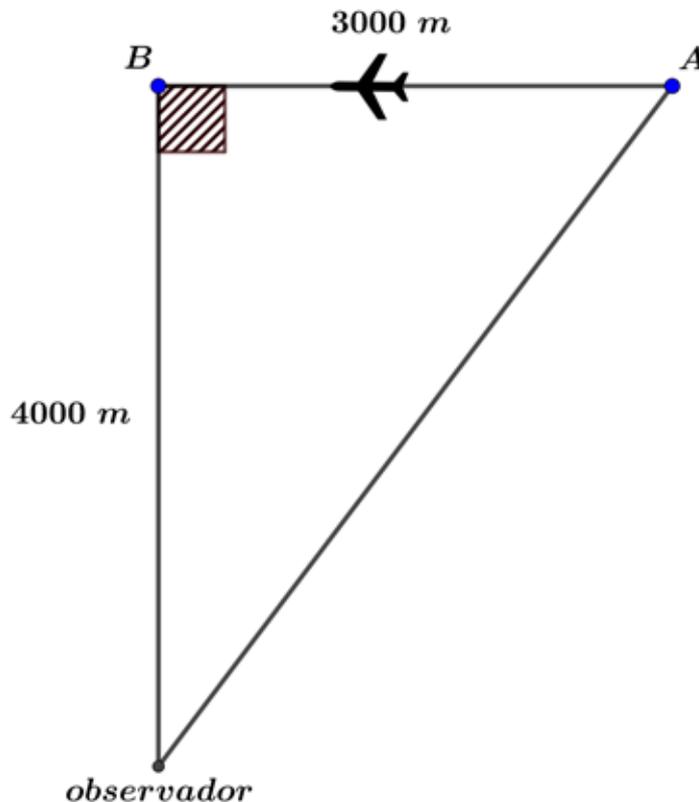
Um avião voando horizontalmente a 4000 m de altura numa trajetória retilínea com velocidade constante passou por um ponto A e depois por um ponto B situado a 3000 m do primeiro. Um observador no solo, parado no ponto verticalmente abaixo de B, começou a ouvir o som do avião, emitido em A, 4,00 segundos antes de ouvir o som proveniente de B. Se a velocidade do som no ar era de 320 m/s, qual era velocidade do avião?

- a) 960 m/s
- b) 750 m/s
- c) 390 m/s
- d) 421 m/s
- e) 292 m/s

### Comentários:

Trata-se de um problema que exige uma interpretação visual do problema:





Pela observação do triângulo, notamos se tratar do pitagórico, cujas dimensões são 3, 4 e 5, multiplicado por 1000. Isso nos permite concluir que a distância do observador ao ponto *A* vale 5000 m.

Podemos isolar o tempo na relação da velocidade para o MRU para determinarmos o tempo para o som ir do ponto *A* ao observador:

$$\Delta t = \frac{\Delta S}{v_{som}}$$

Substituindo-se os valores fornecidos:

$$\Delta t_{A \rightarrow observador} = \frac{5000}{320} = \frac{125}{8} \text{ s}$$

De maneira análoga, para o som ir do ponto *B* até o observador, temos:

$$\Delta t_{B \rightarrow observador} = \frac{4000}{320} = \frac{100}{8} \text{ s}$$

Como o som vem do ponto *A* 4 segundos antes de começar a vir do ponto *B*, temos que o tempo para o avião percorrer a distância de *A* até *B* é:

$$\Delta t_{B \rightarrow observador} + \Delta t_{avião A \rightarrow B} = \Delta t_{A \rightarrow observador} + \Delta t_{percepção do som}$$

$$\frac{100}{8} + \Delta t_{\text{avião } A \rightarrow B} = \frac{125}{8} + 4$$
$$\Delta t_{\text{avião } A \rightarrow B} = \frac{125}{8} - \frac{100}{8} + 4 = \frac{57}{8} \text{ s}$$

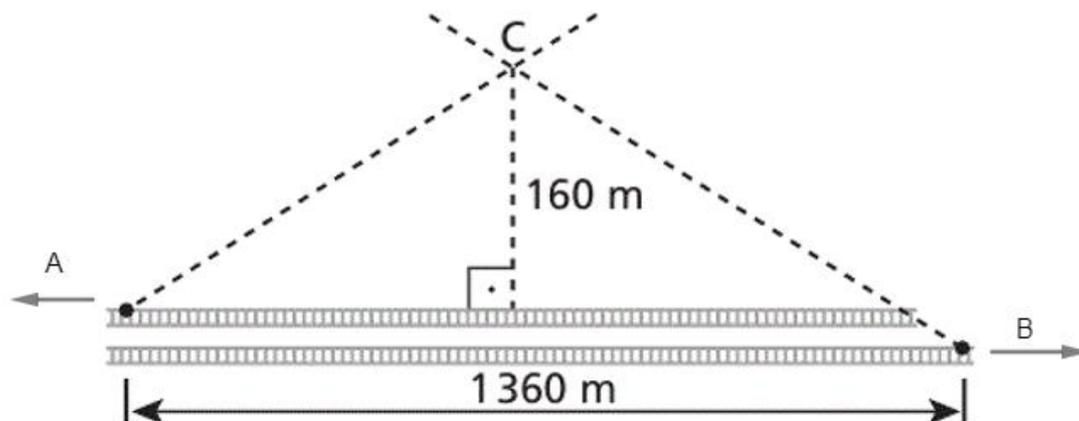
Por fim, a velocidade do avião no trecho AB pode ser encontrada por:

$$v_{\text{avião}} = \frac{\Delta s_{A \rightarrow B}}{\Delta t_{\text{avião } A \rightarrow B}} = \frac{3000}{\frac{57}{8}} = 421,05 \text{ m/s}$$

**Gabarito: D**

### 10. (ITA-1991)

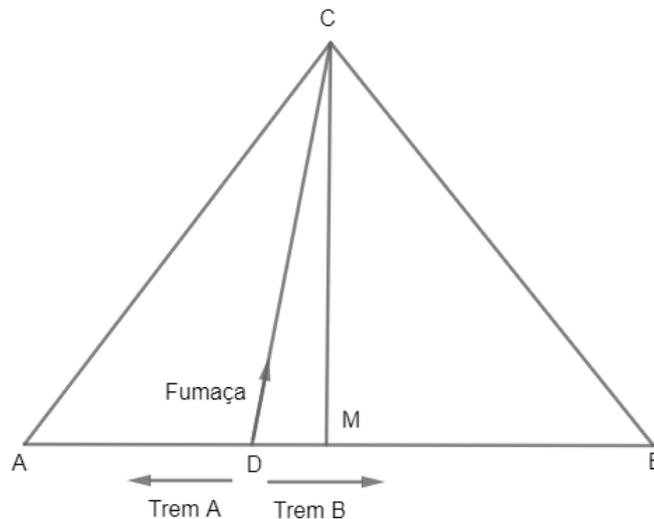
A figura representa uma vista aérea de um trecho retilíneo de ferrovia. Duas locomotivas a vapor, A e B, deslocam-se em sentidos contrários com velocidades constantes de  $50,4 \text{ km/h}$  e  $72 \text{ km/h}$ , respectivamente. Uma vez que AC corresponde ao rastro da fumaça do trem A, BC ao rastro da fumaça do trem B e que  $AC = BC$ , determine a velocidade do vento. Despreze a distância entre os trilhos de A e B.



- a) 5,00 m/s
- b) 4,00 m/s
- c) 17,5 m/s
- d) 18,0 m/s
- e) 14,4 m/s

### Comentários:

Inicialmente, devemos voltar no tempo para o instante em que os trens se encontram. A figura abaixo ilustra o problema:



Notamos que o trem B é mais veloz que o trem A e, por isso, imaginamos o ponto de encontro antes do ponto médio (M) de AB. Dessa forma, DA é a distância percorrida pelo trem A e DB a distância percorrida pelo trem B. Assim, temos que:

$$AB + BD = 1360 \Rightarrow v_A \cdot t + v_B t = 1360 \Rightarrow \frac{50,4}{3,6} \cdot t + \frac{72}{3,6} \cdot t = 1360 \Rightarrow t = 40 \text{ s.}$$

Então, o trem a deslocou:  $DA = \frac{50,4}{3,6} \cdot 40 = 560 \text{ m.}$

Pela geometria do problema, temos que:  $AM - AD = DM \Rightarrow DM = \frac{1360}{2} - \frac{50,4}{3,6} \cdot 40 = 120 \text{ m.}$

Dessa forma, pelo teorema de Pitágoras no triângulo MDC, encontramos a distância DC.

$$DC^2 = MC^2 + DM^2 \Rightarrow DC^2 = 120^2 + 160^2 = 200^2 \Rightarrow DC = 200 \text{ m.}$$

Logo, a velocidade do vento será dada por:

$$v_{\text{vento}} = \frac{DC}{\Delta t} = \frac{200}{40} = 5,00 \text{ m/s.}$$

## Gabarito: A

### 11. (Renato Brio - Fundamentos de Mecânica)

A partir de um ponto A dá-se um tiro em um alvo B. Um observador em C, muitíssimo próximo à reta AB, situado entre A e B à distância  $d$  do ponto A, mediu o tempo  $\Delta t$  que decorreu entre o instante em que ele ouviu o tiro e o instante em que ele ouviu o impacto do projétil no alvo. Sendo  $v_p$  e  $v_s$  as velocidades do projétil e do som, respectivamente, determine a distância entre os pontos A e B.

#### Comentários:

Denotamos por  $D$  a distância entre A e B. Vamos dizer que o som leva um tempo  $t_1$  de A até o observador e  $t_2$  o tempo que o projeto leva para chegar ao alvo mais o tempo do som sair do alvo e voltar para o observador.

Então, podemos fazer um pequeno desenho esquemático para o problema (lembrando que o observador está muito próximo a reta AB, então, consideramos ele sobre a reta AB).



Logo, podemos escrever  $t_1$  e  $t_2$ :

$$t_1 = \frac{d}{v_s} \text{ e } t_2 = \frac{D}{v_p} + \frac{D-d}{v_s}$$

Assim, o tempo medido pelo observador ( $\Delta t$ ) é:

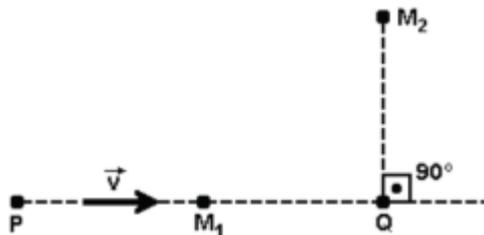
$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{D}{v_p} + \frac{D-d}{v_s} - \frac{d}{v_s} = D \left( \frac{1}{v_s} + \frac{1}{v_p} \right) - \frac{2d}{v_s} \Rightarrow \Delta t + \frac{2d}{v_s} = D \left( \frac{1}{v_p} + \frac{1}{v_s} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{D = \frac{v_p}{v_p + v_s} \cdot (v_s \cdot \Delta t + 2d)}$$

**Gabarito:**  $D = \frac{v_p}{v_p + v_s} \cdot (v_s \cdot \Delta t + 2d)$

## 12. (ITA-2007)

Considere que num tiro de revólver, a bala percorre trajetória retilínea com velocidade  $V$  constante, desde o ponto inicial  $P$  até o alvo  $Q$ . Mostrados na figura abaixo, o aparelho  $M_1$  registra simultaneamente o sinal sonoro do disparo e o do impacto da bala no alvo, o mesmo ocorrendo com o aparelho  $M_2$ . Sendo  $V_s$  a velocidade do som no ar, então a razão entre as respectivas distâncias dos aparelhos  $M_1$  e  $M_2$  em relação ao alvo  $Q$  é:



- a)  $\frac{V_s(V - V_s)}{V_s^2 - V^2}$
- b)  $\frac{V_s(V_s - V)}{V^2 - V_s^2}$
- c)  $\frac{V(V - V_s)}{V_s^2 - V^2}$
- d)  $\frac{V_s(V + V_s)}{V^2 - V_s^2}$
- e)  $\frac{V_s(V - V_s)}{V^2 + V_s^2}$

### Comentários:

Inicialmente, calculamos o intervalo de tempo que a bala leva para chegar até o alvo em  $Q$ .

$$\Delta t_{bala \rightarrow alvo} = \frac{\overline{PQ}}{V}$$

Agora, vamos calcular o intervalo de tempo de o som do disparo ir de  $P$  até  $M_1$ :

$$\Delta t_{som \rightarrow M_1} = \frac{\overline{PM_1}}{V_s}$$

Intervalo de tempo para o som do chegar em  $M_1$  após o impacto em Q:

$$\Delta t_{som Q \rightarrow M_1} = \frac{\overline{QM_1}}{V_s}$$

Do enunciado, o intervalo de tempo de o som ir de P até  $M_1$  é igual ao ao intervalo de tempo de a bala chegar ao alvo mais o intervalo de tempo do som do impacto chegar ao  $M_1$ , isto é:

$$\begin{aligned} \Delta t_{som \rightarrow M_1} &= \Delta t_{bala \rightarrow alvo} + \Delta t_{som Q \rightarrow M_1} \\ \frac{\overline{PM_1}}{V_s} &= \frac{\overline{PQ}}{V} + \frac{\overline{QM_1}}{V_s} \Rightarrow \frac{\overline{PM_1}}{V_s} = \frac{\overline{PM_1} + \overline{QM_1}}{V} + \frac{\overline{QM_1}}{V_s} \Rightarrow \frac{\overline{PM_1}}{\overline{QM_1}} = \frac{V + V_s}{V - V_s} \quad (1) \end{aligned}$$

Para o segundo sensor,  $M_2$ , o tempo para o som do disparo chegar em  $M_2$  será:

$$\Delta t_{som P \rightarrow M_2} = \frac{\overline{PM_2}}{V_s}$$

Tempo para o som do impacto no alvo chegar em  $M_2$ :

$$\Delta t_{som Q \rightarrow M_2} = \frac{\overline{QM_2}}{V_s}$$

Analogamente ao primeiro sensor, temos que:

$$\begin{aligned} \Delta t_{som P \rightarrow M_2} &= \Delta t_{bala \rightarrow alvo} + \Delta t_{som Q \rightarrow M_2} \\ \frac{\overline{PM_2}}{V_s} &= \frac{\overline{PQ}}{V} + \frac{\overline{QM_2}}{V_s} \Rightarrow \overline{PM_2} = \frac{V_s}{V} \cdot \overline{PQ} + \overline{QM_2} \end{aligned}$$

Da geometria do problema, temos que:  $(\overline{PM_2})^2 = (\overline{PQ})^2 + (\overline{QM_2})^2$

Substituindo o valor de  $\overline{PM_2}$  na relação geométrica, vem:

$$\begin{aligned} \left( \frac{V_s}{V} \overline{PQ} + \overline{QM_2} \right)^2 &= (\overline{PQ})^2 + (\overline{QM_2})^2 \\ \Rightarrow \left( \frac{V_s}{V} \overline{PQ} + \overline{QM_2} \right)^2 - (\overline{QM_2})^2 &= (\overline{PQ})^2 \\ \Rightarrow \left[ \frac{V_s}{V} \overline{PQ} + \overline{QM_2} - \overline{QM_2} \right] \left[ \frac{V_s}{V} \overline{PQ} + \overline{QM_2} + \overline{QM_2} \right] &= (\overline{PQ})^2 \\ \Rightarrow \left[ \frac{V_s}{V} \cdot \overline{PQ} \right] \left[ \frac{V_s}{V} \overline{PQ} + 2\overline{QM_2} \right] &= (\overline{PQ})^2 \\ \Rightarrow \frac{2V_s}{V} \overline{QM_2} &= \overline{PQ} \left( 1 - \frac{V_s^2}{V^2} \right) \\ \Rightarrow \frac{2V_s}{V} \overline{QM_2} &= (\overline{PM_1} + \overline{QM_1}) \left( 1 - \frac{V_s^2}{V^2} \right) \\ \Rightarrow \frac{2V_s}{V} \overline{QM_2} &= \left( \frac{\overline{QM_1}(V + V_s)}{V - V_s} + \overline{QM_1} \right) \left( 1 - \frac{V_s^2}{V^2} \right) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \frac{2V_s}{V} \overline{QM_2} = \overline{QM_1} \left( \frac{V + V_s}{V - V_s} + 1 \right) \left( 1 - \frac{V_s^2}{V^2} \right)$$

$$\therefore \boxed{\frac{\overline{QM_1}}{\overline{QM_2}} = \frac{V_s(V - V_s)}{V^2 - V_s^2}}$$

**Gabarito: A**

**13. (Saraeva)**

De Moscou a Pushkino com um intervalo  $t = 10 \text{ min}$  saíram dois trens elétricos com velocidades  $v = 30 \text{ km/h}$ . Com que velocidade  $u$  movia-se um trem em direção a Moscou, uma vez que encontrou os trens elétricos a um intervalo  $t_1 = 4 \text{ min}$ , um depois do outro?

**Comentários:**

A distância entre os dois trens quando saem de Moscou para Pushkino é dado por:

$$d = \frac{30 \cdot 10}{60} = 5 \text{ km}$$

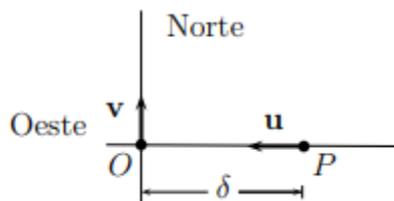
Agora, vamos colocar nosso referencial no segundo trem que vai de Moscou a Pushkino, então o trem que está indo para Moscou passa a ter a velocidade  $u + 30$ . Ele leva 4 min para ir de um trem ao outro. Logo:

$$u + 30 = \frac{5}{\frac{4}{60}} = 75 \Rightarrow \boxed{u = 45 \text{ km/h}}$$

**Gabarito: 45 km/h**

**14. (ITA - 2013)**

Ao passar pelo ponto O, um helicóptero segue na direção norte com velocidade  $v$  constante. Nesse momento, um avião passa pelo ponto P, a uma distância  $\delta$  de O, e voa para o oeste, em direção a O, com velocidade  $u$  também constante, conforme mostra a figura. Considerando  $t$  o instante em que a distância  $d$  entre o helicóptero e o avião for mínima, assinale a alternativa correta.



a) A distância percorrida pelo helicóptero no instante em que o avião alcança o ponto O é

$$\frac{\delta u}{v}.$$

b) A distância do helicóptero ao ponto O no instante  $t$  é igual a  $\frac{\delta v^2}{u^2 + v^2}$ .

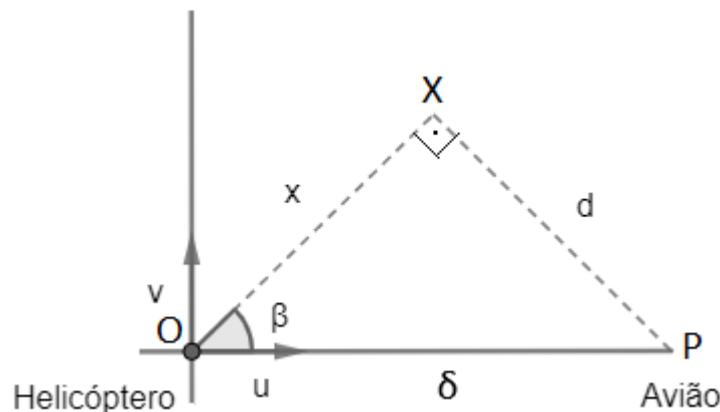
c) A distância do avião ao ponto O no instante  $t$  é igual a  $\frac{\delta v^2}{v^2 + u^2}$ .

d) O instante  $t$  é igual a  $\frac{\delta v}{v^2 + u^2}$ .

e) A distância  $d$  é igual a  $\frac{\delta u}{\sqrt{v^2+u^2}}$ .

**Comentários:**

Vamos adotar o referencial no avião, dessa forma podemos escrever as seguintes velocidades para o problema:



Notamos que ao adotar o avião como referencial, passamos a ver o helicóptero andar na direção de  $x$ , com velocidade  $u$  no sentido de  $O$  para  $P$ . A trajetória do helicóptero neste referencial será dada pela reta  $OX$ . No momento em que a distância é mínima, de acordo com a geometria plana, podemos dizer que  $OX \perp PX$ . Com isso, podemos dizer que:

$$\cos\beta = \frac{x}{\delta}$$

Ao somar os vetores  $\vec{u}$  e  $\vec{v}$ , temos que:  $\cos\beta = \frac{u}{\sqrt{u^2+v^2}}$ .

Portanto:

$$x = \frac{\delta u}{\sqrt{u^2 + v^2}}$$

No momento em que a distância é mínima, é dado por:

$$t = \frac{x}{u} = \frac{\delta u}{u^2 + v^2}$$

Para calcular a distância do avião ao ponto  $O$  no instante  $t$ , basta voltarmos ao referencial inicial da questão e diz que:

$$d_{AO} = \delta - u \cdot t \Rightarrow d_{AO} = \frac{\delta v^2}{v^2 + u^2}$$

Portanto, a alternativa correta é a letra c).

A alternativa a) está errada, pois, a distância percorrida pelo helicóptero é:

$$y = v \cdot \Delta t_{aviao} = v \cdot \frac{\delta}{u}$$

**Gabarito: C**

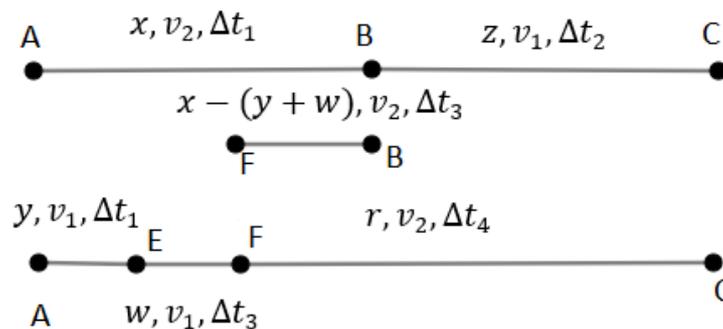
**15. (Saraeva)**



Três turistas, que possuem bicicleta, devem chegar ao centro turístico o menor espaço de tempo) o tempo conta-se até que o último turista chegue ao centro). A bicicleta pode transportar duas pessoas e por isso o terceiro turista deve ir a pé. Um ciclista leva o segundo turista até um determinado ponto do caminho, de onde este continua a andar a pé e o ciclista regressa para transportar o terceiro. Encontre a velocidade média dos turistas, sendo a velocidade do que vai a pé  $v_1 = 4 \text{ km/h}$  e a do ciclista  $v_2 = 20 \text{ km/h}$ .

### Comentários:

Vamos fazer um desenho esquemático mostrando os deslocamentos dos turistas. Lembrando que eles chegaram juntos ao centro turístico. Enquanto o turista ciclista leva o segundo turista, o terceiro turista caminha a distância  $y$ . Após deixar do segundo turista, o turista ciclista volta para buscar o outro enquanto o terceiro turista ainda caminha



Diante disso, temos algumas condições do problema. Geometricamente, temos que:  $x + z = y + w + r$  (1).. Diante disso, temos as seguintes equações:

$$A \rightarrow B: \Delta t_1 = \frac{x}{v_2}$$

$$A \rightarrow E: \Delta t_1 = \frac{y}{v_1}$$

$$B \rightarrow C: \Delta t_2 = \frac{z}{v_1}$$

$$E \rightarrow F: \Delta t_3 = \frac{w}{v_1}$$

$$B \rightarrow F: \Delta t_3 = \frac{x - (y + w)}{v_2}$$

$$F \rightarrow C: \Delta t_4 = \frac{r}{v_2}$$

Nós queremos saber a velocidade média dos turistas, isto é,  $v_m = \frac{x+z}{\Delta t_1 + \Delta t_2}$ .

Para isso devemos manipular algebricamente as equações acima:

$$\frac{x}{v_2} = \frac{y}{v_1} \quad (1)$$

$$\frac{w}{v_1} = \frac{x - (y + w)}{v_2} \quad (2)$$

$$\Delta t_2 = \Delta t_3 + \Delta t_4 \Rightarrow \frac{w}{v_1} + \frac{r}{v_2} = \frac{z}{v_1} \quad (3)$$

E geometricamente, temos que:  $x + z = y + w + r$  (4).

Isolando  $w$  em (2), temos que:  $w = \frac{v_1(x-y)}{v_1+v_2}$ . Substituindo em (3), vem:

$$r = \frac{v_2}{v_1} \cdot z - \frac{v_2(x-y)}{v_1+v_2}$$

Substituindo  $r$  e  $w$  em (4), podemos escrever  $z$  em função de  $(x-y)$ :

$$z = \frac{(x-y)2v_2v_1}{(v_1+v_2)(v_2-v_1)}$$

Agora, vamos isolar  $y$  em (1) e substituir na expressão de  $z$  e deixar  $z$  em função de  $x$ :

$$y = \frac{v_1}{v_2} \cdot x$$

$$z = \frac{2v_1}{v_1+v_2} \cdot x$$

Assim, podemos calcular a velocidade média dos turistas:

$$v_m = \frac{x+z}{\Delta t_1 + \Delta t_2} = \frac{x + \frac{2v_1}{v_1+v_2} \cdot x}{\frac{x}{v_2} + \frac{2v_1}{(v_1+v_2)v_2} \cdot x} \Rightarrow v_m = \frac{(3v_1+v_2)v_2}{v_1+3v_2}$$

Para as velocidades dadas, temos que:  $v_m = \frac{3 \cdot 4 + 20}{4 + 3 \cdot 20} \cdot 20 = \frac{32 \cdot 20}{64} = 10 \text{ km/h}$ .

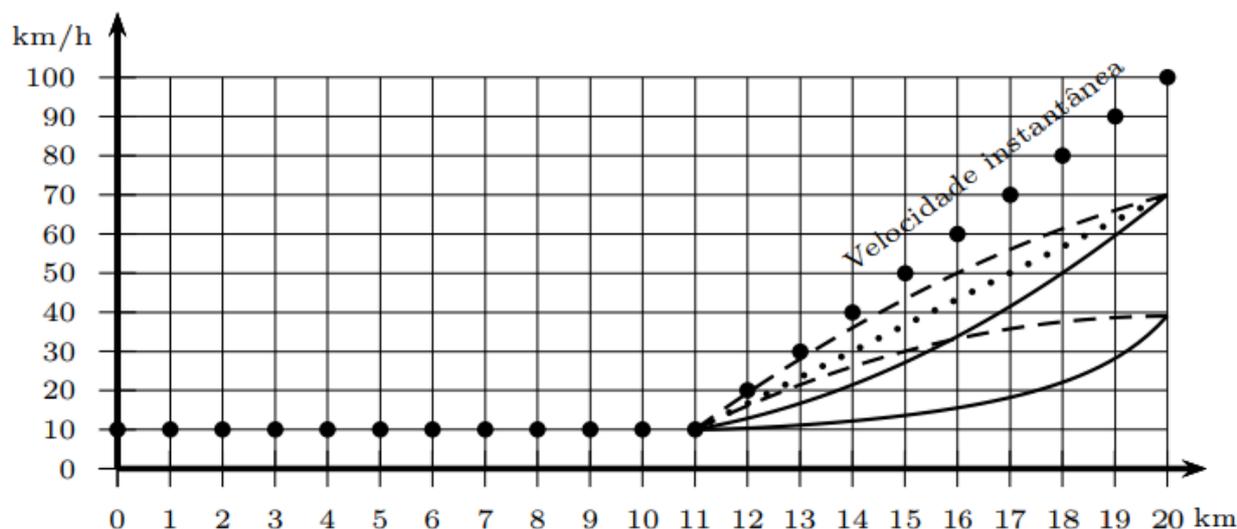
Voltaremos futuramente a resolver esta questão com o auxílio de um gráfico.

**Gabarito: 10 km/h**

## 16. (ITA 2018)

Os pontos no gráfico indicam a velocidade instantânea, quilometro a quilometro, de um carro em movimento retilíneo. Por sua vez, o computador de bordo do carro calcula a velocidade média dos últimos 9 km por ele percorridos. Então, a curva que melhor representa a velocidade média indicada no computador de bordo entre os quilômetros 11 e 20 é





- a) a tracejada que termina acima de 50 km/h.
- b) a cheia que termina acima de 50 km/h.
- c) a tracejada que termina abaixo de 50 km/h.
- d) a pontilhada.
- e) a cheia que termina abaixo de 50 km/h.

**Comentários:**

Vamos dividir o problema em dois intervalos de espaços: o primeiro de  $x = 9$  a 11 e o segundo de 11 a  $x$ .

No primeiro intervalo, temos que a velocidade do carro não varia e é igual a 10 km/h.

Para os últimos 9 km percorridos de  $x = 9$  a  $x$  é dada por:

$$v_m = \frac{\Delta s_1 + \Delta s_2}{\Delta t_1 + \Delta t_2} = \frac{9}{\Delta t_1 + \Delta t_2}$$

Entretanto:  $\Delta t_1 = \frac{\Delta s_1}{v_1} = \frac{11-(x-9)}{10} = \frac{20-x}{10}$ .

Para determinarmos  $\Delta t_2$ , vamos escrever a velocidade do móvel em função de  $x$ :

$$v(x) = 10x - 100$$

Como vimos, a velocidade é a derivada da posição em relação ao tempo, então, escrevemos que:

$$\frac{dx}{dt} = 10x - 100 \Rightarrow \frac{dx}{x - 10} = 10 dt \Rightarrow \int \frac{dx}{x - 10} = \int 10 dt \Rightarrow \ln(x - 10) \Big|_{x_0}^x = 10t \Big|_{t_0}^t$$

$$\therefore 10\Delta t_2 = \ln(x - 10) - \ln(11 - 10) \Rightarrow \Delta t_2 = \frac{\ln(x - 10)}{10}$$

Dessa forma, a curva da velocidade média é dada por:



$$v_m = \frac{9}{\frac{20-x}{10} + \frac{\ln(x-10)}{10}}$$

Para  $x = 20 \text{ km}$ , temos que  $v_m = 39,1 \text{ km/h}$ . Agora, precisamos observar a concavidade. Pelo Cálculo, teríamos que derivar a função de  $v_m$  duas vezes e observar o sinal da função encontrada. Mas, na prova do vestibular, o melhor jeito é substituir valores de forma a diferenciar facilmente as curvas. Para  $x = 13$ , temos que  $v_m = 11,1$ . Portanto, a curva que satisfaz é a cheia com concavidade para cima. Está questão cobrou um conhecimento de Cálculo que não é costume do ITA. Foi uma questão atípica.

**Gabarito: E**

---



### 3. Considerações finais

Chegamos ao final da nossa primeira aula de introdução à Física e de introdução à Cinemática. Na próxima aula, começaremos a estudar os tipos de movimentos mais simples na cinemática e como abordar as questões dos vestibulares.

Leia com cuidado os enunciados e, principalmente, as questões comentadas. No nosso curso, sempre procuramos resolver questões mais complexas, daqueles livros russo, mas cuidado! Muitos alunos se perdem nesses livros que vão além daquilo cobrado pelo ITA.

A última questão é totalmente atípica no ITA. Cobrar um conhecimento aprofundado de Cálculo não é o perfil destes vestibulares, mas o aluno não precisa se matar na hora da prova para fazer a questão. Você deve ter humildade para pular esse tipo de questão na hora do exame.

Tente fazer todas as questões da lista sem olhar o gabarito. O caminho para passar no ITA é difícil, por isso é muito importante fazer as questões e não abandonar nenhuma dúvida.

Conte comigo nessa jornada. Quaisquer dúvidas, críticas ou sugestões entre em contato pelo fórum de dúvidas do Estratégia ou se preferir:



 @proftoniburgatto

## 4. Referências bibliográficas

- [1] Calçada, Caio Sérgio. Física Clássica. 1. ed. Saraiva Didáticos, 2012. 576p.
- [2] Bukhovtsev, B.B. Krivtchenkov, V.D. Miakishev, G.Ya. Saraeva, I. M. Problemas Seleccionados de Física Elementar. 1 ed. MIR, 1977.518p.
- [3] Brito, Renato. Fundamentos de Mecânica. 2 ed. VestSeller, 2010. 496p.
- [4] Departamento de Física do ITA. Algarismos significativos. Disponível em:  
<<http://www.fis.ita.br/labfis45/erros/errostextos/erros1.htm>>
- [5] IM-UFRJ. Aula 8 Produto Escalar. Disponível em <<http://www.im.ufrj.br/nuno/aula8.pdf>>
- [6] Camargo, Ivan de. Boulos, Paulo. Geometria analítica: Um tratamento vetorial. 3. Ed. Person Education, 2004, 560p.



## 5. Versão de aula

Versão da aula	Data da atualização
1.0	29/11/2019

