TEXTO DE REVISÃO 08 - Princípios da Dinâmica e Leis de Newton

1- <u>Dinâmica</u>: É a parte da Mecânica que analisa os movimentos, fazendo as relações entre causas e efeitos.

O estudo dos movimentos que relacionam as causas e os efeitos é a essência da Dinâmica. Conceitos primitivos como os de força e de energia serão associados aos movimentos, além dos conceitos já estudados na Cinemática. Portanto, daqui a diante, as razões pelas quais os móveis adquirem ou modificam suas velocidades passarão a ser estudadas e relacionadas com as respectivas conseqüências.

2- <u>Força</u>: Para se compreender o conceito de força, que é algo intuitivo, pode-se basear em dois tipos de efeitos, dos quais ela é causa:

- **Deformação:** efeito estático da força; o corpo sofre uma modificação em seu formato, sob a ação da força.
- **Aceleração:** efeito dinâmico da força, em que o corpo altera a sua velocidade vetorial, isto é, varia pelo menos umas das seguintes características da velocidade: direção, sentido e módulo, quando sujeito à ação da força.

Nesta parte da mecânica que passaremos a estudar propomo-nos a responder a uma pergunta, talvez das mais antigas feitas pelo homem: como se relacionam forças e movimento?

Uma das respostas, dada por Aristóteles (século IV a.C.), pode ser sintetizada como se segue: é impossível a um corpo se deslocar na ausência de forças.

À primeira vista, essa parece resumir de forma simples um fato bem conhecido. Esse fato pode ser, por exemplo, puxar uma cadeira: enquanto você a puxa, ela anda; ao você parar de puxar, ela pára.

Entretanto, se nos prendermos a análises desse tipo, imediatistas e simplórias, seremos levados a acreditar que a conclusão de Aristóteles estava certa. E essa conclusão perdurou por aproximadamente 2 000 anos, pois apenas no fim do século XVI, com Galileu, e no século XVII, com Newton, é que caíram por terra os postulados aristotélicos do movimento.

⇒LEIS DO MOVIMENTO DE NEWTON:

Então, como se relacionam força e movimento? A resposta só poderá ser dada, na sua forma mais clara, após a apresentação das leis do movimento de Newton, que passaremos a analisar a seguir.

1ª Lei de Newton (princípio da inércia): Quando a resultante das forças que atuam sobre um corpo for nula, esse corpo permanecerá em repouso ou em movimento retilíneo uniforme

Antes de passarmos à discussão das idéias contidas nesse 1º princípio, vejamos o significado de suas palavras. A expressão "resultante das forças que atuam sobre um corpo for nula" é, para nós, sinônimo de equilíbrio. Esse equilíbrio pode manifestar-se de duas formas:

$$\mathbf{R = 0} \Rightarrow \textbf{equilíbrio} \begin{cases} estatico: repouso \\ dinamico: MRU \end{cases}$$

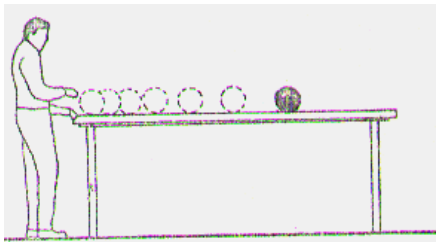
Mas perceba que, no enunciado da lei, Newton apresenta, em primeira análise, dois fatos decorrentes da situação "resultante das forças nula" **(R = 0):**

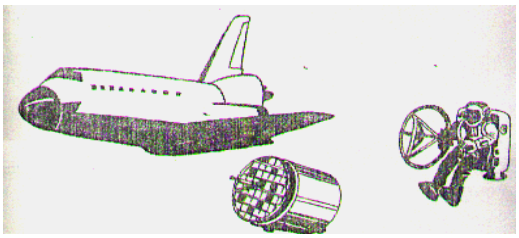
a) O corpo permanece em repouso. Não discutiremos essa idéia, por se tratar do resultado mais simples e intuitivo contido na 1ª lei.

b) O corpo permanece em movimento retilíneo uniforme. Nessa segunda parte do enunciado, Newton contradiz Aristóteles na medida em que passa a admitir a possibilidade de movimento na "ausência de forças"**(R = 0)**: Isso, como vimos, era categoricamente negado por Aristóteles. Vejamos como podemos chegar a essa mesma conclusão, através da experiência a seguir:

Se um ponto material estiver livre da ação de forças, sua velocidade vetorial permanece constante. Galileu, estudando uma esfera em repouso sobre um plano horizontal, observou que, empurrando-a com determinada força, ela se movimentava. Cessando o empurrão (força), a esfera continuava a se mover até

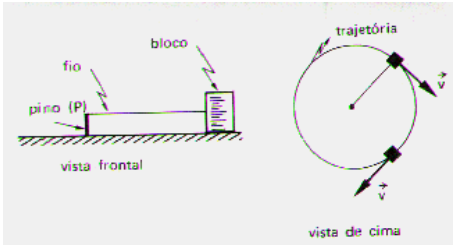
percorrer determinada distância. Verificou, portanto, que a esfera continuava em movimento sem a ação de uma força e que a esfera parava em virtude do atrito entre a esfera e o plano horizontal. Polindo o plano horizontal, observou que o corpo se movimentava durante um percurso maior após cessar o empurrão. Se pudesse eliminar completamente o atrito, a esfera continuaria a se movimentar, por inércia, indefinidamente, sem retardamento, isto é, em movimento retilíneo e uniforme.

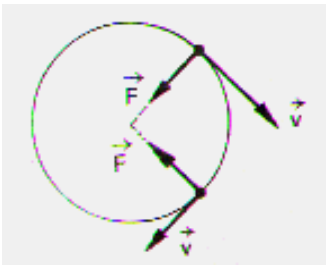




A figura logo acima representa uma nave espacial livre de ações gravitacionais significativas do resto do universo. Com seus motores desligados, a força propulsora da nave é nula, porém ela mantém o seu movimento com velocidade constante, segundo o princípio da inércia.

Analisemos agora o caso de um bloco preso a um fio, que está atado a um pino fixo em uma mesa horizontal e perfeitamente lisa. Posto em movimento, esse bloco passará a se deslocar em movimento circular uniforme em torno do pino, como vemos na figura.





Embora o valor da velocidade venha a permanecer constante, podemos perceber que a direção de **v** é alterada de ponto para ponto da trajetória, graças à ação do fio sobre o corpo, ou seja, o fio é responsável pela presença de uma força **F**, perpendicular à direção de **v**, é incapaz de alterar o valor da velocidade, mas altera a direção da velocidade **v**.

A partir dos exemplos do bloco, podemos perceber que, sempre que alterarmos o estado de movimento de um corpo, ou, em outras palavras, sempre que alterarmos a velocidade vetorial **v** de um corpo, é necessário que sobre o mesmo atue uma força **F**. Generalizando temos:

Força **F** será toda ação capaz de alterar a velocidade vetorial **v** de um corpo.

2ª Lei de Newton: Princípio Fundamental da Dinâmica

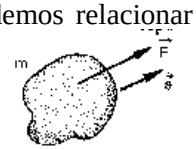
Newton conseguiu estabelecer, com sua 1ª lei, a relação entre força e movimento. Entretanto, ele mesmo percebeu que apenas essa lei não era suficiente, pois exprimia somente uma relação qualitativa entre força e movimento: a força altera o estado de movimento de um corpo. Mas, com que intensidade? Como podemos relacionar matematicamente as grandezas envolvidas?

Nessa 2º lei, o princípio fundamental da dinâmica, ou 2º princípio, as idéias centrais são as mesmas do 1º princípio, só que formalizadas agora com o auxílio de uma expressão matemática, como segue:

$$\vec{F} = m.\vec{a}$$

A resultante das forças $\vec{F}$ que atuam sobre um corpo de massa m comunica ao mesmo uma aceleração resultante $\vec{a}$, na mesma direção e sentido de $\vec{F}$. Esse resultado era de se esperar, já que, como foi visto, uma força $\vec{F}$, ao atuar sobre um corpo, alterava sua velocidade $\vec{v}$. Se modifica sua velocidade, está transmitindo ao corpo uma determinada aceleração $\vec{a}$.

Da segunda lei podemos relacionar a força resultante $\vec{F}$ e a aceleração adquirida pelo corpo $\vec{a}$, como é mostrado na figura.



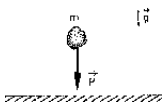
- módulo: $F = m.a$
- direção: **F** e **a** , têm a mesma direção.
- sentido: **F** e **a** , têm o mesmo sentido.

⇒Peso de um corpo:

Como já foi visto em cinemática, qualquer corpo próximo à superfície da Terra é atraído por ela e adquire uma aceleração cujo valor independe da massa do corpo em questão, denominada aceleração da gravidade g.

Se o corpo adquire uma certa aceleração, isso significa que sobre o mesmo atuou uma força. No caso, diremos que a Terra atrai o corpo e chamaremos de peso $\vec{P}$ do corpo à força com que ele é atraído pela Terra. De acordo com o 2º princípio, podemos escrever:

$$\vec{F} = m.\vec{a} \Rightarrow \boxed{\vec{P} = m.\vec{g}}$$



ATENÇÃO: O peso $\vec{P}$ de um corpo varia de local para local, porque o valor da aceleração da gravidade $\vec{g}$ se altera de local para local, mas sua massa m é a mesma em todos os lugares, pois depende apenas do corpo em estudo.

⇒UNIDADES DE FORÇA:

Serão apresentadas aqui três unidades utilizadas para se exprimir o valor de uma força em três diferentes sistemas de unidades: o CGS, o MKS (Sistema Internacional de Unidades) e o MK*S (MKS técnico). A tendência atual da ciência se concentra na utilização do sistema internacional. Essa é também a tendência que se revela nos grandes vestibulares realizados no país. No quadro a seguir, apresentamos as unidades fundamentais de cada sistema, bem como as unidades de força de cada um deles.

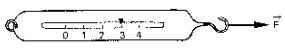
SISTEMA	COMPRIMENTO	MASSA	TEMPO	FORÇA
SI (MKS)	m	kg	s	kg . m/s = (**N**) (newton)
CGS	cm	g	s	g . cm/s^2 (dina) (dyn)
MK*S	m	utm	s	utm . m/s^2 (quilograma-força) (kgf)

As definições de dina (d) newton (N) e quilograma-força (kgf) derivam da 2ª lei de Newton, como veremos:

- Um dina corresponde à intensidade da força que, aplicada a um corpo de massa 1 g, comunica ao mesmo uma aceleração de 1 cm/s^2. F = m.a ⇒ F = 1g . 1cm/s^2 ⇒ F = 1 d
- Um newton é a intensidade da força que, aplicada a um corpo de massa 1 kg, transmite ao mesmo uma aceleração de 1 m/s^2 . F = m . a ⇒ F = 1 kg . 1 m/s^2 ⇒ F = 1 N
- Um quilograma-força corresponde ao peso de um corpo de massa 1 kg num local onde g = 9,8 m/s^2. F = m.a ⇒ F = 1kg . 9,8m/s^2 ⇒ F = 9,8 N ⇒ F = 1 kgf

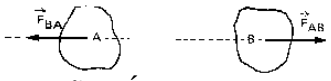
obs. 1N = 10^5 d e 1kgf = 9,8 N

⇒ **DINAMÔMETRO:** Chama-se dinamômetro todo aparelho graduado de forma a indicar a intensidade da força aplicada em um dos seus extremos. Internamente, o dinamômetro é dotado de uma mola que se distende à medida que se aplica a ele uma força. No caso da figura abaixo, está sendo aplicada ao dinamômetro uma força de intensidade 3 N. O dinamômetro será ideal se tiver massa desprezível.



3ª Lei de Newton: Princípio da ação e reação

Quando dois corpos **A** e **B** interagem, se **A** aplica sobre **B** uma força, esse último corpo aplicará sobre **A** uma outra força de mesma intensidade, mesma direção e sentido contrário.

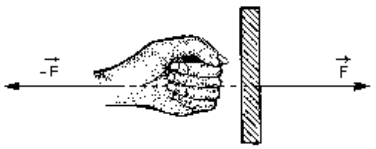


$\mathbf{F_{AB} = - F_{BA}}$

Atenção: É importante ressaltar que ação e reação nunca se anulam, pois atuam sempre em corpos diferentes.

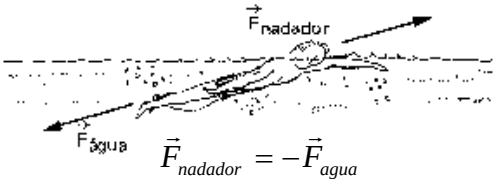
A seguir, algumas situações analisadas a partir dessa 3ª lei de Newton.

Exemplo 1: Um indivíduo dá um soco numa parede.



A reação da parede sobre sua mão é $-\vec{F}$

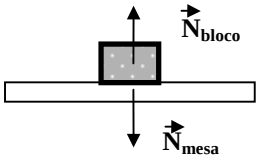
Exemplo 2: Um nadador impele a água para trás com auxíl mãos e dos pés.



$\vec{F}_{nadador} = -\vec{F}_{agua}$

⇒ **ALGUMAS FORÇAS PARTICULARES:** Apresentarei a seguir algumas das forças que aparecerão com maior frequência nos exercícios de dinâmica.

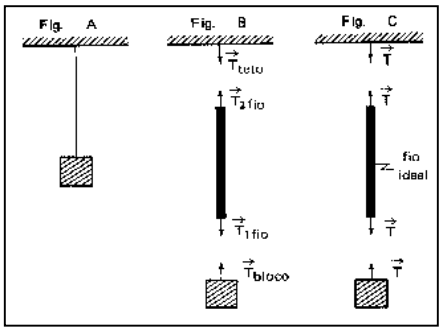
- **Força de reação normal $\vec{N}$:** É a força de contato entre um corpo e a superfície na qual ele se apoia, que se caracteriza por ter direção sempre perpendicular ao plano de apoio. A figura abaixo apresenta um bloco que está apoiado sobre uma mesa.



$\vec{N}_{mesa}$**:** Força aplicada sobre a mesa pelo bloco.
$\vec{N}_{bloco}$**:** Reação da mesa sobre o bloco.

$\mathbf{N_{bloco} = - N_{mesa}}$

- **Força de tração ou tensão $\vec{T}$:** É a força de contato que aparecerá sempre que um corpo estiver preso a um fio (corda, cabo). Caracteriza-se por ter sempre a mesma direção do fio e atuar no sentido em que se tracione o fio. Na sequência de figuras abaixo, representamos a força de tração **T** que atua num fio que mantém um corpo preso ao teto de uma sala.



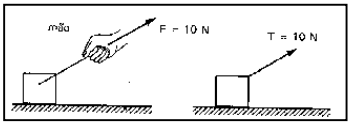
Para melhor visualizarmos as forças nos extremos do fio, isolamos o teto do fio e esse do corpo suspenso (figura B).

Nas figuras A, B e C, temos:

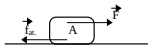
$\begin{cases} \vec{T}_{bloco}: & \text{força com que o fio "puxa"o bloco.} \\ \vec{T}_{1\,fio}: & \text{força de tração no extremo do fio.} \end{cases}$ onde $\boxed{\vec{T}_{bloco} = -\vec{T}_{1\,fio}}$

$\begin{cases} \vec{T}_{teto}: & \text{força com que o fio "puxa"o teto.} \\ \vec{T}_{2\,fio}: & \text{força de tração no extremo do fio.} \end{cases}$ onde $\boxed{\vec{T}_{teto} = -\vec{T}_{2\,fio}}$

Se o fio for ideal (massa desprezível e inextensível), a força de tração **T** terá o mesmo valor em todos os pontos. O fio ideal transmite integralmente a força aplicada em um dos seus extremos. Na figura abaixo vemos um operador aplicando uma força de intensidade 10 N, ao puxar um bloco. O fio, que é ideal, transmite a força integralmente ao bloco.



- **Força de atrito:** Seja **A** um bloco inicialmente em repouso sobre um plano e apliquemos a esse corpo a força **F**, como se vê na figura. Verificamos que mesmo tendo sido aplicada ao corpo uma força, esse corpo não se moverá.



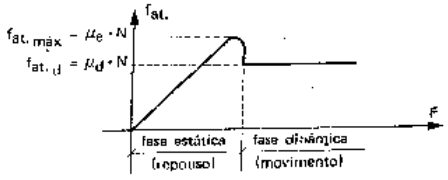
Se isso ocorre, concluímos que sobre o mesmo estará agindo outra força, de mesmo módulo e em sentido oposto a **F** (figura ao lado). A essa força denominaremos força de atrito $\mathbf{F_{at.}}$
Podemos, a seguir, aumentar gradativamente o valor da força **F**, a intensidade da força de atrito também aumentou, de tal forma que a resultante das forças atuantes no bloco continuasse nula.

Mas a prática nos mostra que, a partir de um determinado momento, o bloco passa a se deslocar no sentido da força **F**. A interpretação desse fenômeno é a seguinte: Embora a intensidade da força de atrito possa aumentar à medida que aumentamos a intensidade da força solicitante **F**, a força de atrito atinge um determinado valor máximo; a partir desse momento, a tendência do bloco é sair do repouso.

O valor máximo atingido pela força de atrito na fase estática é diretamente proporcional à intensidade da reação normal **N** do bloco. Esse resultado, experimental, pode ser expresso na forma:

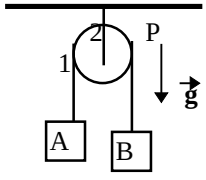
$$F_{at.est.} = \mu_e \cdot N$$

Nesta expressão, μ_e é o coeficiente de atrito estático entre o bloco e a superfície. Uma vez atingido o valor máximo da força de atrito, se aumentarmos a intensidade da força **F**, o corpo entrará em movimento acelerado, no sentido de **F**. Nessa segunda fase, denominada dinâmica, a intensidade da força de atrito será menor que o valor máximo da força de atrito estático e seu valor poderá ser considerado constante para facilitar a resolução de problemas. Caso o examinador, ao se referir à existência de atrito entre duas superfícies, não faça referência explícita ao coeficiente de atrito dinâmico ou estático, deveremos considerar $\mu_e = \mu_d$ .O gráfico abaixo nos dará uma idéia aproximada de como esta força age.



obs. A força de atrito (estático ou dinâmico) não depende da área de contato entre as superfícies. Assim nas figuras abaixo, onde os dois blocos são idênticos e **F** também, as força de atrito tanto em 1 como em 2, são iguais, apesar de as superfícies em contato serem diferentes.

Máquina de Atwood:



No esquema da figura, vemos a montagem da chamada máquina de Atwood: dois corpos A e B, de massas m_A e m_B , ligados entre si por um fio (1) ideal que passa através da polia ideal P (sem atrito e massa desprezível). O conjunto está preso ao teto por outro fio (2), também ideal. É evidente que, para que o sistema adquira uma determinada aceleração **a**, será necessário que $m_A \neq m_B$; nesse caso, abandonando-se o sistema, este entrará em movimento, de tal forma que o corpo "mais pesado" descerá, puxando o "mais leve"para cima.

Sendo inextensível o fio, ambos os corpos irão deslocar-se com acelerações de mesmo módulo, porém em sentidos opostos. A solução de problemas que envolvam tal tipo de montagem não exigirá nada além de isolar os corpos e analisar as forças que agem em cada um e finalmente equacionar através da 2ª lei de Newton.

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM:

01) Complete as lacunas abaixo:

Forças são situações entre corpos, que produzem variações no seu estado _____ (de movimento/físico) ou provocam _____ (deformações/iluminação). Quando a força não produz variação no movimento, mas apenas deformação, dizemos que o efeito da força é _____ (estático/dinâmico). Se a força produzir apenas variações no movimento, dizemos que o efeito da força é _____ (estático/dinâmico). A força da atração que a Terra exerce em um corpo é denominada força _____ (normal/peso). Quanto maior a massa de um corpo, _____ (maior/menor) é a força peso.

Denomina-se força de reação normal a força de reação da força _____ (peso/exercida contra uma superfície). O módulo da força normal é _____ (sempre/às vezes) igual ao módulo da força peso. A força de reação normal _____ (é /não é) a reação da força peso.

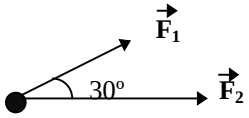
O aparelho utilizado para medir a força é denominado _____ (velocímetro/dinamômetro). Um corpo de um quilo de massa tem _____ (1/10/0,1) kgf de peso. Já um corpo de 50 kg de massa tem aproximadamente _____ (5/50/500) Newton de peso.

Se um corpo está em repouso _____ (é/não é) necessário a ação de uma força para colocá-lo em movimento. Numa superfície perfeitamente lisa, onde podemos considerar nula as forças de atrito, se um corpo está em movimento retilíneo _____ (é/não é) necessária a ação de uma força para mantê-lo neste movimento. Para alterar a velocidade de um objeto é necessária a ação de uma _____ (massa/aceleração). Se a força resultante for nula a velocidade do corpo ficará _____ (variável/constante/aumentando).

respostas: de movimento/deformação/estático/dinâmico/peso/maior/exercida contra uma superfície/às vezes/não é/dinamômetro/ 1/500/é/não é/força/constante

02) Um corpo de 10 kg de massa está num local de g = 10 m/s^2 . Qual o módulo de seu peso? R: 100 N

03) Seja um ponto material de massa m = 1 kg, sob a ação das forças $\mathbf{F_1}$ e $\mathbf{F_2}$ de intensidade 2N e 4N respectivamente, conforme indica a figura.



Determine a aceleração adquirida pelo corpo. Dado $\sqrt{3} = 1{,}7$ R: 5,8 m/s^2

04) Dois corpos A e B têm massas de 3 kg e 2 kg respectivamente. No bloco A aplica-se uma força de 45 N como mostra a figura.

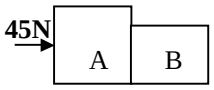
Pede-se:

a) a aceleração do sistema;

b) a intensidade da força com que A empurra B;

c) a intensidade da força que B aplica em A.

Desprezar o atrito com o chão.



R: a) a = 9m/s^2 b) 18N c) 18N

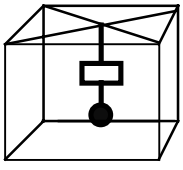
05) Dois corpos A e B de massas respectivamente iguais a 4 kg e 9 kg, inicialmente em repouso, estão interligados por um fio inextensível e de massa desprezível, sobre uma superfície plana, horizontal e polida. Sobre A aplica-se uma força F = 260 N, conforme indica a figura.

Admitindo g = 10 m/s^2 , pede-se:

a) a aceleração do conjunto;

b) a tração no fio que une A e B. R: 20 m/s^2 e 180 N

06) Um corpo de massa 8 kg é suspenso a um dinamômetro preso ao teto de um elevador conforme indica a figura, por meio de um fio ideal.



Dado g = 10 m/s^2 , determine as indicações fornecidas pelo dinamômetro nos seguintes casos:

a) o elevador sobe com aceleração de 4 m/s$^{2.}$

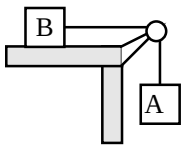
b) o elevador desce com aceleração de 4 m/s$^{2.}$

c) o elevador sobe com movimento uniforme.

d) o cabo do elevador arrebenta e ele entra em queda livre.

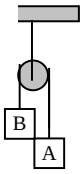
R: 112 N , 48 N , 80 N , 0

07) Nos sistemas abaixo, a massas dos corpos são: $m_A = 5$ kg e $m_B = 15$ kg . Sendo g = 10 m/s^2 , determine a aceleração de cada sistema e a tração no cabo que une A a B.



I

II

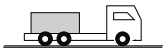


R: I - 2,5 m/s^2 e 37,5 N II - 5 m/s^2 e 75 N

08) Um corpo de massa 20 kg encontra-se sobre um plano horizontal onde os coeficientes de atrito estático e dinâmico são, respectivamente, 0,4 e 0,2. Sendo o bloco solicitado por uma força constante, de intensidade 100 N, pede-se, considerando g = 10 m/s^2 :
a) Um esquemas das forças que agem sobre o corpo;
b) a intensidade da força peso;
c) a intensidade da força normal;
d) a intensidade da força de atrito de destaque (intensidade máxima da força de atrito estático, sem que o corpo saia do repouso);
e) a intensidade da aceleração do corpo.
R: b) 200 N c) 200 N d) 80 N e) 3 m/s^2

09) Com relação ao exercício anterior, qual deveria ser a intensidade da força externa F para:
a) o corpo entrar em movimento?
b) o corpo se mover em MRU?

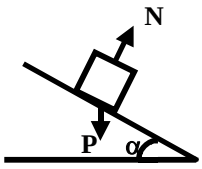
10) Um caminhão parte do repouso sobre uma estrada reta e horizontal, acelerando até atingir certa velocidade, a partir da qual segue em movimento uniforme. O caminhão transporta um caixote. Esquematize as forças que agem sobre o caixote:



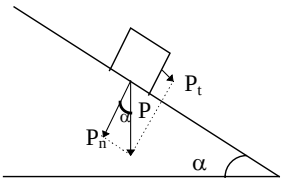
a) durante a fase de aceleração, supondo que o caixote não deslize sobre a carroceria;
b) durante a fase em que o movimento é retilíneo e uniforme.

4 - Plano inclinado: Plano inclinado é o nome que se dá a uma superfície plana que forma com a horizontal um certo ângulo α.

Considere agora um bloco de massa m sobre um plano inclinado e despreze o atrito.



As forças atuantes no bloco são o seu peso e a reação normal.



$P_n = P \cos \alpha$
$P_t = P \operatorname{sen} \alpha$

Este ângulo vale α pois seus lados são perpendiculares aos lados do ângulo α do plano inclinado. Se decompormos o vetor peso em dois: um vetor tangente à superfície e outro vetor normal à superfície obteremos as componentes P_n e P_t tais que:

$P_n = N = P \cos \alpha$
$P_t = P \operatorname{sen} \alpha$

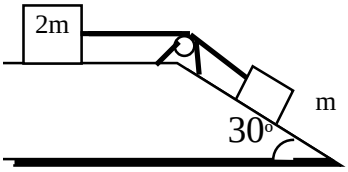
Logo a componente P_t é a força que vai acelerar o bloco para baixo.

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM:

11) Um bloco de massa 10 kg desce um plano inclinado, sem atrito, que faz um ângulo de 30º com a horizontal. Desprezando qualquer possível atrito com a superfície, determine a aceleração do bloco. Adote g = 10 m/s^2 R: 5 m/s^2

12) Uma caixa de 20 kg sobe um plano inclinado de 60º em MRU sob a ação de uma força **F** a favor do movimento. Qual é o valor desta força **F**? Adote g = 10 m/s^2 e despreze o atrito. R: $100\sqrt{3}N$

13) No desenho abaixo o fio é ideal, despreza-se o atrito e adota-se g = 10 m/s^2 . Qual a aceleração do sistema e a força de tração no fio?



R: 2,5 m/s^2 e 5 m

14) Um corpo de 20 kg de massa, é abandonado livremente em um plano inclinado que faz 30º com a horizontal. O coeficiente de atrito entre o corpo e o plano é de 0,4. Considere sen 30º = 0,5 e cos 30º = 0,8 e g = 10 m/s^2 , determine:

a) a aceleração do corpo;

c) a reação normal do apoio.

R: a = 1,8 m/s^2 N = 160 N