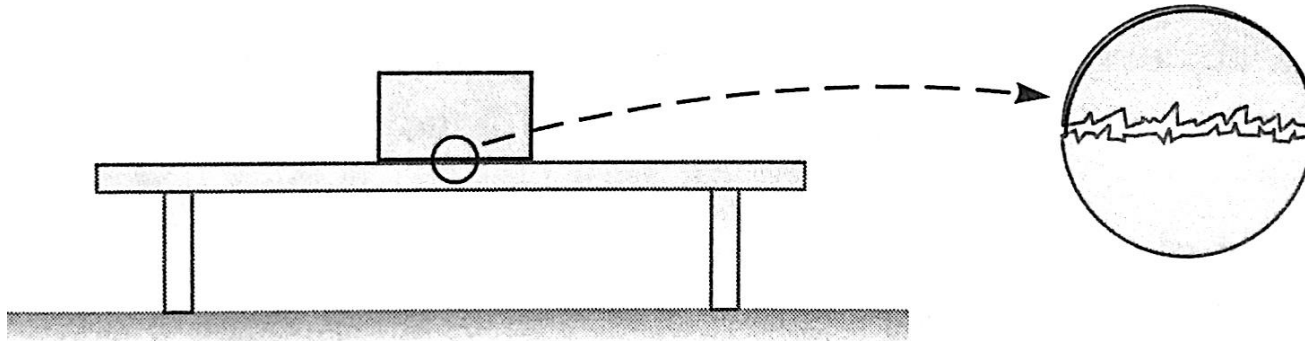


Forças de atrito

Uma superfície qualquer, por mais polida que seja, sempre apresenta irregularidades. Quando a superfície de um corpo escorrega ou tende a escorregar em relação à superfície do outro, teremos as chamadas **forças de atrito**. Essas forças, que surgem no sentido de se opor ao escorregamento ou à tendência de escorregamento, são forças tangentes às superfícies de contato e em situações ideais podem ser desprezadas.

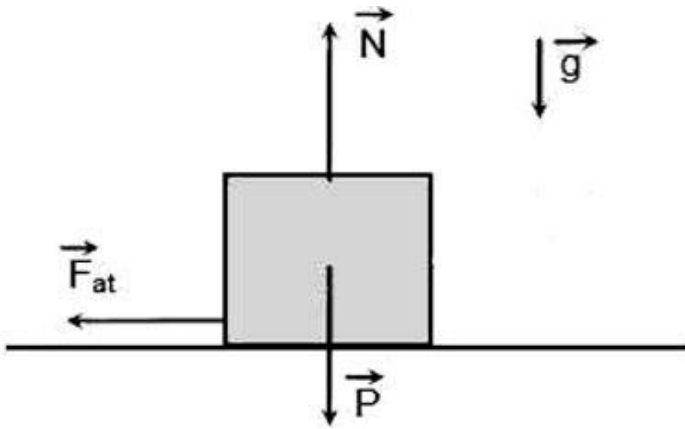


Numa escala microscópica, as forças de atrito têm origem nas interações atômicas que ocorrem nas regiões de contato entre as superfícies (saliências). Nos pontos em que essas saliências se justapõem, ocorrem fortes **adesões** que se constituem numa espécie de "solda" entre os dois materiais. Desse modo, a força de atrito está associada à ruptura das "soldas" existentes nas inúmeras saliências, quando um corpo é arrastado sobre o outro.

Tais "soldas" se refazem continuamente, em novos pontos de contato, enquanto ocorre o deslocamento relativo entre os corpos. Assim, durante o arrastamento de um corpo sobre o outro, existe sempre a resistência devido ao atrito.

As forças de atrito podem ser de 2 tipos:

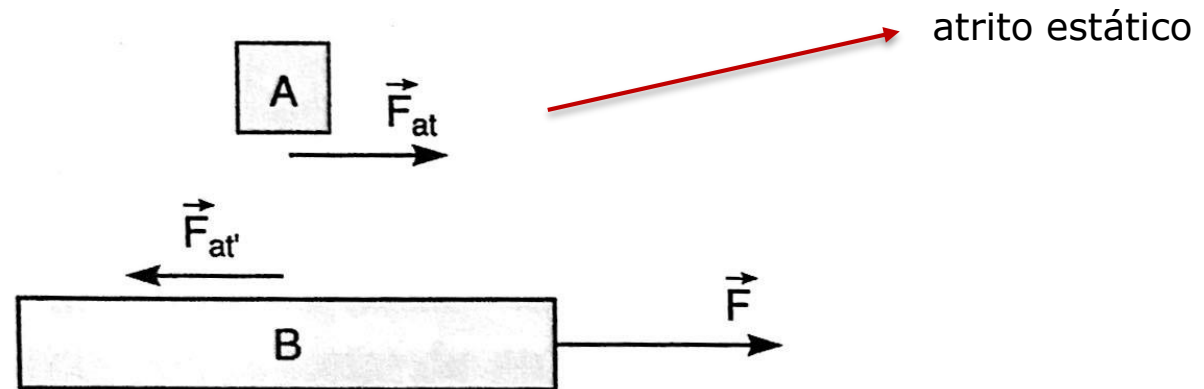
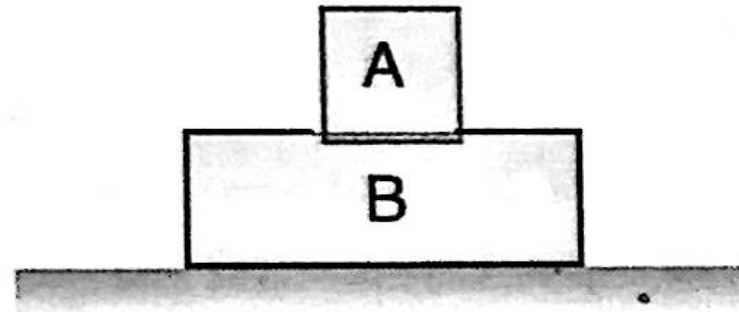
- **Cinético (dinâmico):** quando há movimento relativo entre as superfícies (**deslizamento**);
- **Estático:** quando não há movimento relativo entre as superfícies.



atrito desprezível



- Exemplo: considere um bloco A apoiado sobre um bloco B, que por sua vez está apoiado sobre uma superfície plana horizontal. Aplicando uma força em B de tal forma que os dois blocos movam juntos, sem que A escorregue sobre B, o sentido da força de atrito é o mesmo do movimento.



- Exemplo: ao caminhar para a direita, o pé do homem aplica sobre o chão uma força para esquerda. O chão, por reação, aplica uma força no pé do homem para a direita. Temos então que a força de atrito que atua no pé do homem **tem o mesmo sentido** do movimento do homem em relação ao solo.

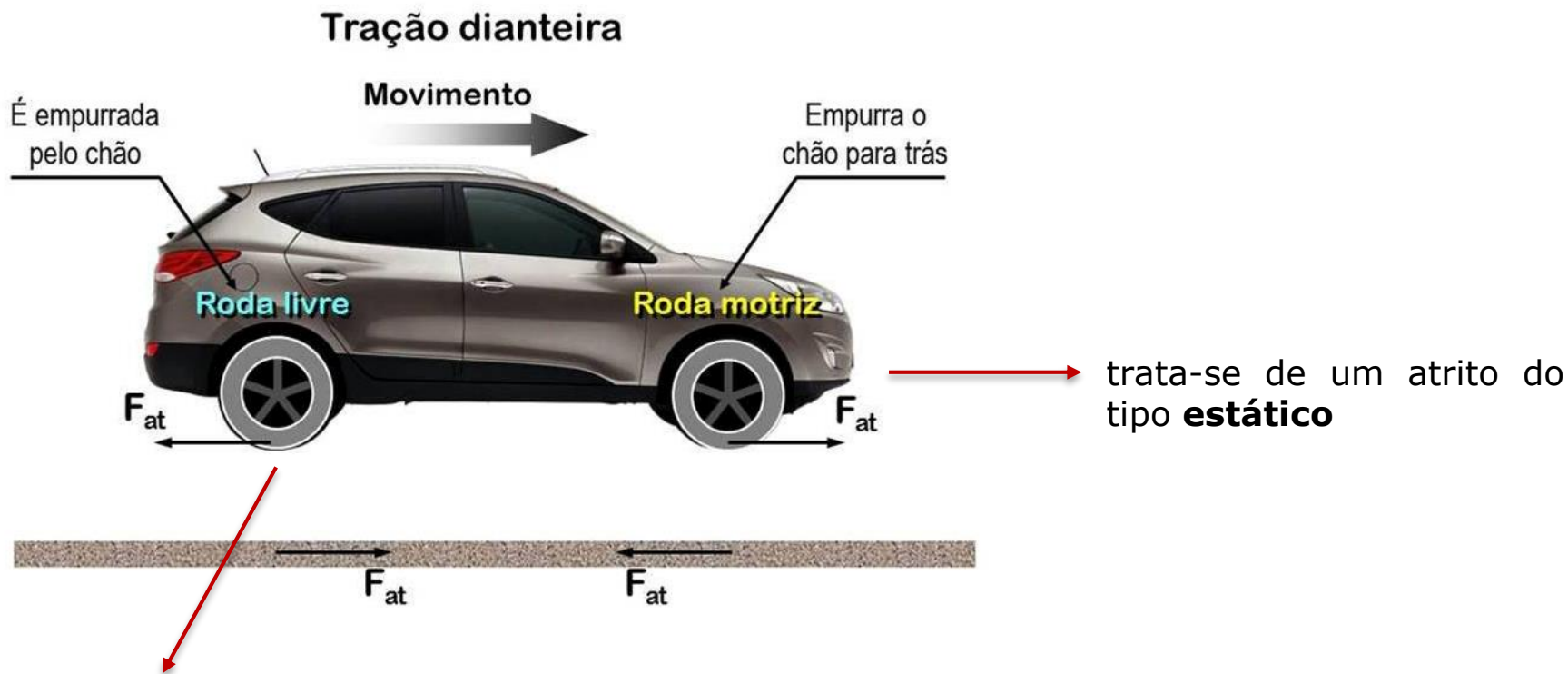


Força de atrito aplicada no chão

Reação do chão que acelera a pessoa

trata-se de um atrito do tipo **estático**, uma vez que não há deslizamento entre as superfícies

- Exemplo: considere um automóvel de tração dianteira acelerando em uma estrada plana e horizontal. Tração dianteira significa que as rodas dianteiras são tracionadas pelo motor, empurrando o chão para trás. O chão, por reação, impulsiona o automóvel para frente.



empurra o chão para frente, que por reação empurra a roda para trás. Esse atrito também é do tipo estático.

✓ Força de atrito cinético (dinâmico)

O atrito é cinético (dinâmico) quando há movimento relativo entre as superfícies. Ele é dado por:

$$f_{at} = \mu_c F_N$$



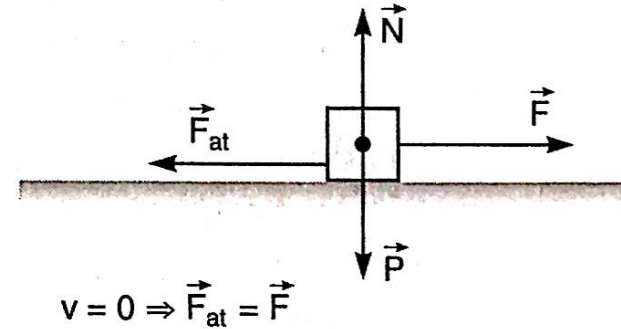
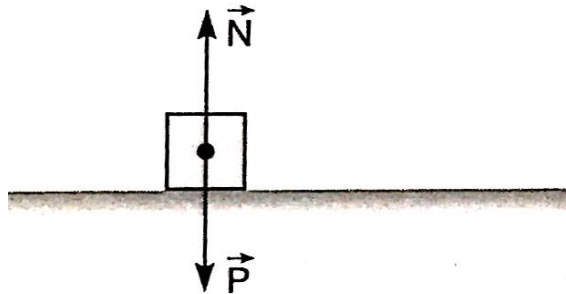
coeficiente de atrito cinético (ou dinâmico)

- obs.: o coeficiente de atrito é uma grandeza adimensional que depende do material de que é feito cada corpo, bem como do polimento deles.
- obs.: o coeficiente de atrito, de maneira genérica, depende da velocidade relativa e área da superfície de contato, mas essas variações são tão pequenas que são desprezadas.

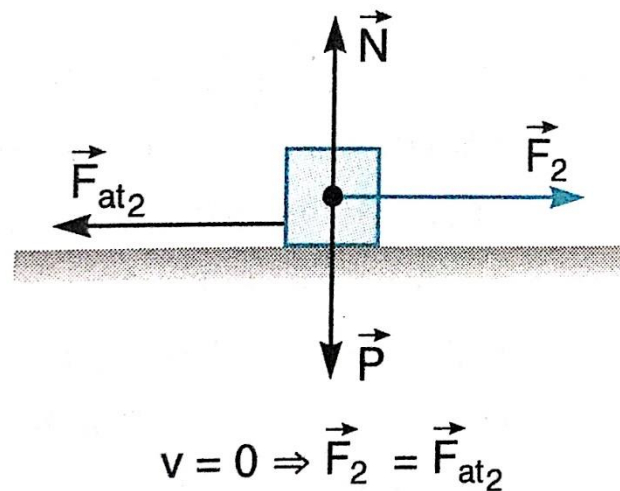
✓ Força de atrito estático

O atrito é estático toda vez que não há movimento relativo entre as superfícies. Trata-se de uma força de módulo variável.

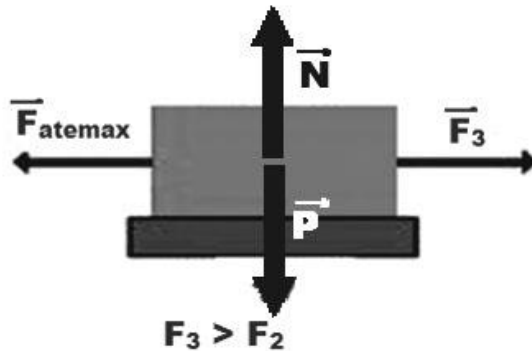
Considere um bloco inicialmente em repouso em que é aplicada uma força de módulo F e ele continua em repouso. Logo:



Considere que a força aplicada agora tem módulo F_2 , em que $F_2 > F$, e mesmo assim o bloco continua em repouso. Logo:



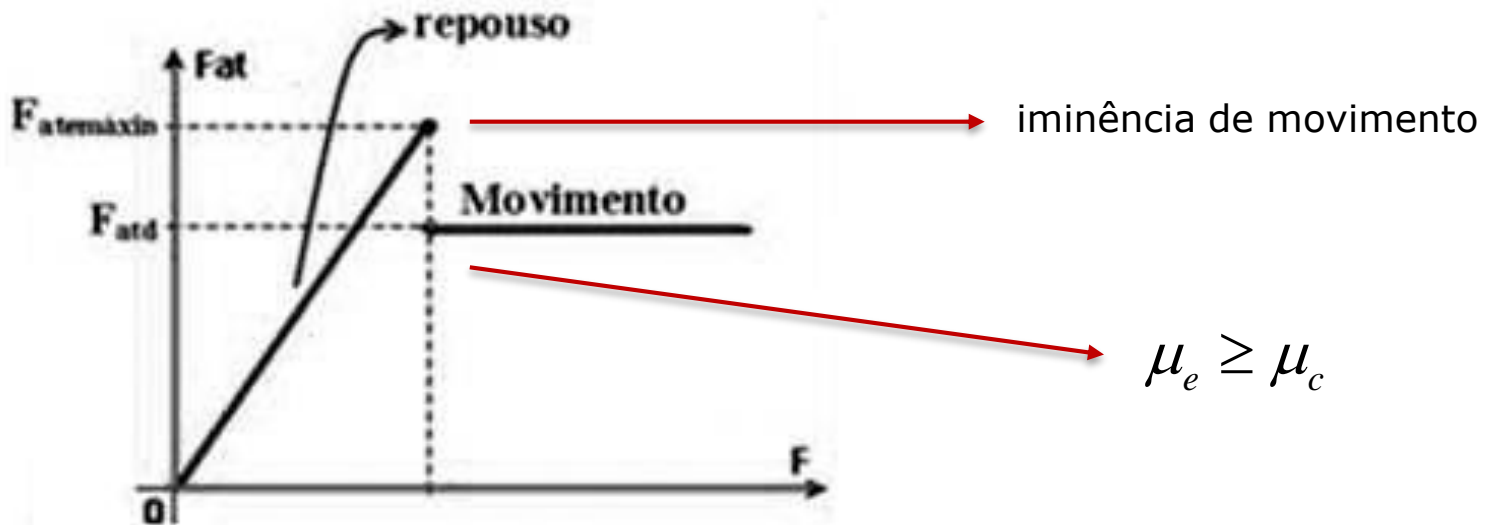
Aumentando o valor da força aplicada para F_3 , de tal forma que o bloco fique na **iminência do movimento**, o atrito estático atingirá seu valor máximo, dado por:



$$f_{at,máx} = \mu_e F_N$$

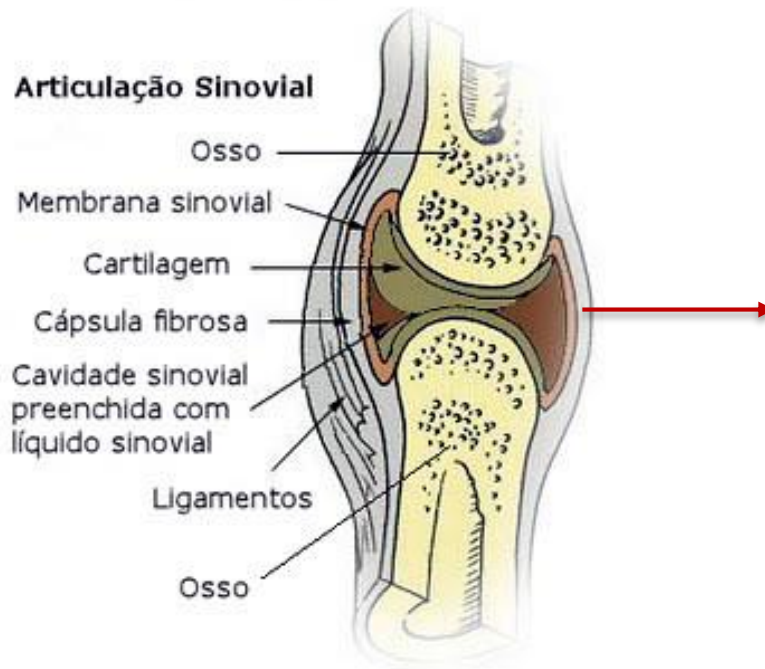
coeficiente de atrito estático

Graficamente temos:



- obs.: o **freio ABS** (*Anti-lock Braking System*) é um sistema de frenagem (travagem) que evita que a roda bloqueie (quando o pedal de freio é pisado fortemente) e entre em derrapagem. Assim, evita-se o descontrole do veículo (permitindo que obstáculos sejam desviados enquanto se freia).



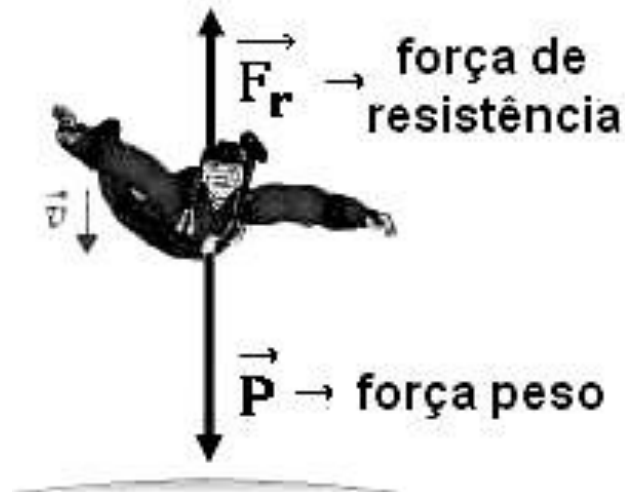


o coeficiente de atrito estático nas juntas ósseas lubrificadas vale 0,003

Material	Coeficiente de atrito estático	Coeficiente de atrito cinético
Borracha sobre concreto	1,00	0,80
Aço sobre aço (a seco)	0,80	0,60
Aço sobre aço (com lubrificação)	0,10	0,05
Madeira sobre madeira	0,50	0,20
Madeira sobre neve	0,12	0,06

✓ Resistência dos fluidos

Quando um corpo se move no interior de um fluido (líquidos ou gases), sobre ele atua uma força que tem **sentido oposto ao do movimento do corpo**, dada por:



$$F_{res} = k.v^n$$

constante que depende da área da secção reta do corpo (perpendicular à direção de movimento), do formato do corpo e da natureza do fluido

➤ obs.: temos que **n = 1** ou **n = 2**, dependendo da ordem de grandeza da velocidade

✓ O movimento do paraquedista

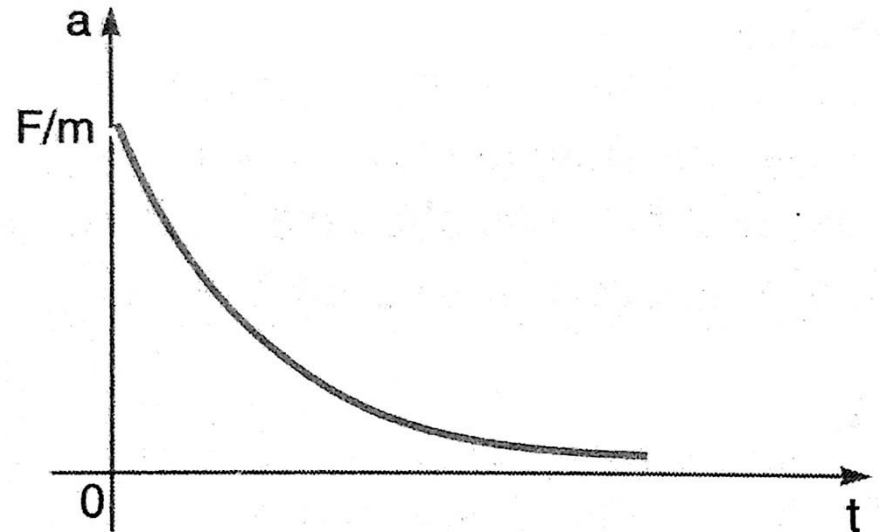
Quando um paraquedista salta de um avião, sua velocidade vertical inicialmente é nula. A velocidade horizontal dele é a mesma do avião e diminuirá gradativamente pela ação da resistência do ar. A velocidade do paraquedista aumenta, uma vez que o movimento é **acelerado**.

A força de resistência do ar cresce até atingir o mesmo valor da força peso. Nesse momento, ele terá atingido a chamada **velocidade limite (velocidade terminal)**. Seu movimento passará a ser **uniforme**.

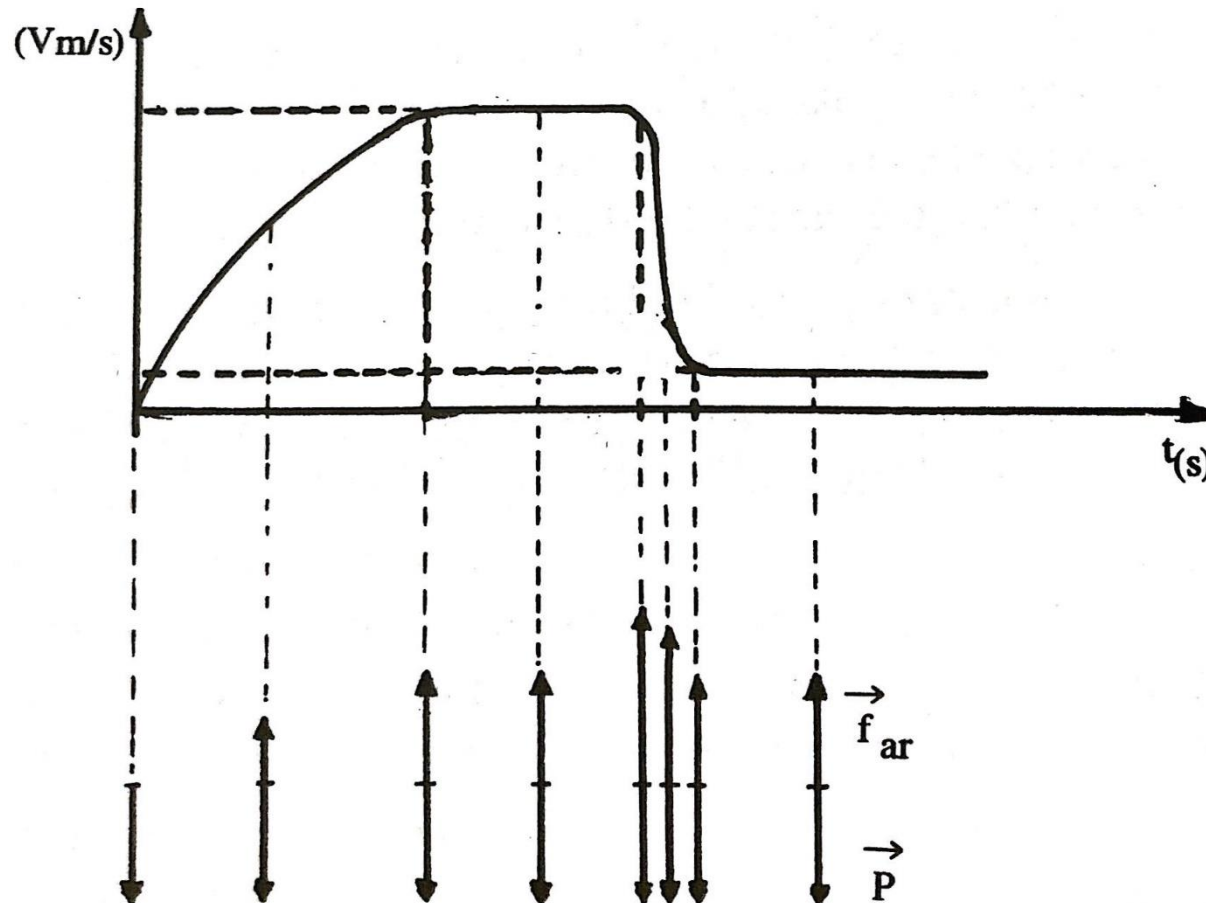
$$F_{ar} = P \Rightarrow k \cdot v^n = mg \Rightarrow v_{limite} = \sqrt[n]{\frac{mg}{k}}$$

Para a aceleração do paraquedista temos:

$$P - F_{ar} = ma \Rightarrow a = \frac{P - k \cdot v^n}{m}$$



No instante em que o paraquedas é aberto, a força de resistência do ar aumenta muito, provocando no paraquedista uma aceleração contrária ao movimento. A velocidade diminui bastante, até que o movimento torne-se uniforme novamente.



Quem chega primeira ao solo? Um homem pesado ou uma mulher leve? A mulher alcançará sua velocidade terminal quando sua força de resistência aerodinâmica sobre seu paraquedas se igualar ao peso dela. Quando isto acontecer, a resistência aerodinâmica contra o paraquedas do homem ainda não terá se igualado ao seu peso. Ele deverá cair mais rápido ainda para que a resistência aerodinâmica iguale-se ao seu maior peso. A velocidade terminal é maior para a pessoa mais pesada, com o quê, ele chegará primeiro.

