

**Q4.1** De acordo com a primeira lei de Newton, um corpo está em equilíbrio (MRU/repouso) se e somente se a resultante  $\vec{R}$  das forças que atuam nele é nula. A resultante das forças é simplesmente a soma (vetorial) de todas as ( $N$ ) forças que atuam no corpo:

$$\vec{R} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i$$

Portanto, o equilíbrio pressupõe  $\vec{R} = \vec{0}$ . Se há somente uma força  $\vec{F}$  atuando no corpo, então, a condição de equilíbrio  $\vec{R} = \vec{F} = \vec{0}$  é absurda. Ela está dizendo que não pode haver essa força  $\vec{F}$ , posto que ela é nula.

**Q4.2** Um corpo está em equilíbrio quando está em MRU (movimento retilíneo uniforme) ou em repouso (que não deixa de ser um MRU com velocidade constante nula).

Uma bola lançada para cima está parada momentaneamente em seu ponto de altura máxima, ela não está em repouso e não está, portanto, em equilíbrio. O repouso é um estado que se estende no tempo, não é um estado instantâneo. A condição  $\vec{v}(t) = \vec{0}$  está dizendo que a velocidade se anula exatamente no instante  $t$ . É o que ocorre com a bola se  $t$  é o instante exato em que ela atinge sua altura máxima. A condição de repouso é dada por  $\vec{v}(t) = \vec{0}$  para  $t$  dentro de um intervalo de tempo.

Essa discussão lembra um pouco a diferença entre “parar” e “estacionar” que existe no trânsito. Há locais em que podemos parar, mas não podemos estacionar. Qual a diferença entre parar e estacionar? Encontramos na internet (jus.com.br) uma referência à seguinte norma do Código de trânsito:

PARADA - imobilização do veículo com a finalidade e pelo tempo estritamente necessário para efetuar embarque ou desembarque de passageiros.

ESTACIONAMENTO - imobilização de veículos por tempo superior ao necessário para embarque ou desembarque de passageiros.

Fica sempre uma sensação de ambigüidade. No nosso contexto não há ambigüidade. Se um corpo está parado em um dado instante, não podemos concluir que ele está em repouso/equilíbrio. Se ele estiver em repouso, ele já estava parado por alguns instantes anteriores e/ou vai continuar parado por alguns instantes posteriores.

De acordo com a primeira lei de Newton, repouso é sinônimo de  $\vec{R} = \vec{0}$ , assim como o MRU. No caso da bola em sua altura máxima, o peso  $\vec{P}$  da bola está lá, atuando na bola, puxando ela para baixo. Então, nesse instante vale  $\vec{v}(t) = \vec{0}$  e vale também  $\vec{R} = \vec{P} \neq \vec{0}$ . Em um instante anterior a bola estava subindo e em um próximo instante a bola já estará descendo, porque ela não estava em repouso e nem em equilíbrio no ponto de altura máxima.

### Q4.3

Um corpo está em equilíbrio quando está em MRU (movimento retilíneo uniforme) ou em repouso (que não deixa de ser um MRU com velocidade constante nula).

Um balão de gás estacionário no ar, sem sair do lugar, está em repouso. Então ele está em equilíbrio.

De acordo com a primeira lei de Newton, repouso é sinônimo de  $\vec{R} = \vec{0}$ , assim como o MRU. No caso do balão estacionário, o peso  $\vec{P}$  do balão está lá, atuando no balão, puxando ele para baixo. A condição  $\vec{R} = \vec{0}$  que leva ao equilíbrio/repouso tem que ser verdadeira, de onde concluímos que tem que estar atuando no balão (pelo menos) mais uma força  $\vec{F}$ , empurrando ele para cima. Quem poderia ser  $\vec{F}$ ? O balão está mergulhado nesse fluido que compõe a atmosfera, o ar. Portanto, atua nele uma força de empuxo, que é vertical para cima e de módulo igual ao peso do ar deslocado pelo balão:  $\vec{F} = \vec{F}_{EMPUXO}$ . Portanto, para esse balão estacionário, ou seja, em equilíbrio/repouso, a primeira lei de Newton diz que:

$$\vec{R} = \vec{P} + \vec{F}_{EMPUXO} = \vec{0}$$

Não há outras forças importantes no balão (alguém poderia dizer que há a atração gravitacional da Lua ou de Júpiter, e é verdade que essas forças estão lá, mas essas forças não são importantes nesse contexto).

### Q4.5

A Figura ao lado ilustra essa ideia: um pedaço de corda de massa desprezível é puxado nas extremidades por forças  $\vec{F}$  e  $-\vec{F}$ . A corda não sai do lugar, mas fica esticada, pois ela está sendo tensionada por essas duas forças. Qual a resultante das forças na corda?



$$\vec{R} = \vec{F} + (-\vec{F}) = \vec{0}$$

Portanto, da primeira lei de Newton concluímos que a corda está em equilíbrio. Dependendo do observador, essa corda pode permanecer em repouso diante dele.

Qual a tensão na corda? Não devemos confundir a tensão na corda com a resultante  $\vec{R}$ . Seria estranho dizer que a tensão nessa corda é nula, pois na prática poderíamos ver claramente que ela está tensionada, que ela não está “frouxa”. A tensão na corda é a força que a mantém tensionada. A tensão em uma corda pode ser diferente em cada ponto da corda, como no caso, por exemplo, de uma corda pesada que se estende pendurada na vertical. Nesse caso a tensão na corda seria maior em sua extremidade superior.

Para medir a tensão em um dado ponto de uma corda devemos cortar a corda nesse ponto e inserir aí um dinamômetro, um medidor de força. Você pode sempre imaginar esse procedimento.

A Figura abaixo ilustra essa ideia, medindo a tensão no meio da corda. Cortamos a corda ao meio e conectamos as duas pontas a um dinamômetro.

Se os dois segmentos de corda estão em equilíbrio, não é muito difícil concluir que o dinamômetro vai indicar exatamente o valor  $F$ , o módulo de  $\vec{F}$ . Esse é o valor da tensão nesse ponto da corda. Nesse exemplo, esse é o valor da tensão (em módulo) em qualquer ponto da corda.



Não acreditamos que alguém vai olhar para essa figura e imaginar que este dinamômetro vai indicar o valor zero. Não, ele vai indicar o valor  $F$ , que é o módulo da tensão nesse ponto da corda. Essa tensão estava lá, quando a corda estava inteira e não havia dinamômetro. O dinamômetro não está criando ou modificando a tensão na corda, ele está apenas medindo.

**Q4.8** O conceito de “força inercial” ou “força fictícia” existe na mecânica (mas não é estudado em nosso curso, por ser desnecessário), mas essas pessoas não estão fazendo um bom uso dele. Por isso, seria mais apropriado dizer que essas pessoas estão erradas. Na mecânica associamos forças a interações. Se há uma força atuando no corpo A, então existe um outro corpo B que tem que estar fazendo essa força, e sofrendo, ele mesmo, a força de reação, de acordo com a terceira lei de Newton.

Quando um carro para repentinamente, os passageiros que estão “meio soltos” se projetam para a frente do carro. Ninguém os empurrou para frente (quem poderia ser?) e, portanto, não existe essa força que empurra esses passageiros para a frente do carro.

Os passageiros “bem fixos com cinto de segurança” do carro vêem esses passageiros “meio soltos” se projetarem (acelerarem) para a frente e, erroneamente, raciocinam em termos da segunda lei de Newton e concluem que “movimento de projeção para a frente” é provocado por “força para a frente”, já que  $\vec{R} = m \vec{a}$ . Esses passageiros “fixos” se esquecem que são observadores em um referencial não-inercial (o carro que freia) e que a segunda lei de Newton não vale nesse referencial. Essas seriam as pessoas que poderiam argumentar em termos de uma “força de inércia” que empurra os passageiros “soltos” para a frente. Trata-se de um raciocínio fundado em uma premissa errada: a validade das leis de Newton para um observador fixo no carro que freia: um referencial acelerado e, portanto, não-inercial.

Um observador fixo no asfalto observa que os passageiros “soltos” não são empurrados para a frente, eles apenas continuam em seu MRU com a velocidade que o carro tinha antes de frear. Portanto, o carro freia e essas pessoas “soltas” vão ultrapassá-lo. Esse observador (inercial) entende que os passageiros “soltos” são projetados para a frente, ou seja, tentam ultrapassar o carro e os passageiros seguros em seus cintos de segurança, porque vale para eles a primeira lei de Newton, pois eles estão “soltos” ( $\vec{R} = \vec{0} \Rightarrow MRU$ ). Para esse observador as leis de Newton valem e ele não tem que apelar para a ação sobrenatural de uma força fictícia.

**Q4.15** Um elevador que sobe com velocidade constante é um referencial inercial. Portanto, um observador nesse elevador vai concluir as mesmas coisas que um observador fixo na Terra (suposta um ref. Inercial).

Um corpo em queda livre cai com aceleração  $\vec{g}$ . Tanto para um observador fixo na Terra quanto para um observador fixo nesse elevador.

Por definição, um corpo em queda livre é um corpo que se move sob ação única de seu peso  $\vec{P}$ . Portanto, se esse observador no elevador usar a segunda lei de Newton e o fato de que  $\vec{P} = m\vec{g}$ , ele vai concluir que a aceleração  $\vec{a}$  desse corpo é  $\vec{a} = \vec{g}$ , posto que:  $\vec{R} = \vec{P} = m\vec{a} = m\vec{g}$ .

Se o elevador estivesse acelerado, um observador dentro dele poderia medir outra aceleração para um corpo em queda livre. Por exemplo, se o elevador estivesse, ele mesmo, em queda livre, esse corpo em queda livre ficaria flutuando no espaço, com aceleração nula. Se esse observador usasse a segunda lei de Newton para analisar esse fato, ele diria que:  $\vec{R} = \vec{P} = m\vec{a} = m\vec{0} = \vec{0} = m\vec{g}$ . Daí ele concluiria que não existe gravidade dentro do elevador, ou que o corpo possui massa nula. Mas, nada disso é verdade. Existe gravidade dentro do elevador, ela está lá independentemente do que o elevador faça. Ela está lá porque o planeta Terra existe e possui uma massa gigantesca. Esse corpo hipotético possui massa e isso também independe do que o elevador faça. Esse observador chegou a essa conclusão absurda porque o elevador acelerado é um referencial não-inercial e a segunda lei de Newton não vale para observadores nesse elevador. Esse é basicamente o raciocínio que leva à conclusão errada de que os astronautas na estação espacial internacional (ISS) estão na ausência de gravidade (pelo menos ninguém diz que os astronautas não possuem massa).

**Q4.28** Essa pode parecer uma pergunta absurda/artificial, mas eu já tive oportunidade de reponde-la em sala de aula, em outro contexto. O cavalo puxa a carroça, fazendo uma força  $\vec{F}_{CAV/CARR}$ . Note:  $\vec{F}_{CAV/CARR}$  é uma força que o cavalo faz na carroça. A terceira lei de Newton diz que a carroça puxa o cavalo, com uma reação tal que:  $\vec{F}_{CARR/CAV} = -\vec{F}_{CAV/CARR}$ . Note:  $\vec{F}_{CARR/CAV}$  é uma força que a carroça faz no cavalo. Essas forças representam uma interação mútua entre o cavalo e a carroça: eles se puxam. Como todo par de forças ação/reação:  $\vec{F}_{CAV/CARR}$  e  $\vec{F}_{CARR/CAV}$  atuam em corpos diferentes.

Portanto, a ideia de que  $\vec{F}_{CAV/CARR}$  e  $\vec{F}_{CARR/CAV}$  possam se anular e produzir o equilíbrio ( $\vec{R} = \vec{0}$ ) do cavalo ou da carroça é absurda. Essas duas forças não atuam ambas no cavalo ou na carroça. Elas não vão estar presentes em um diagrama de forças do cavalo ou da carroça.

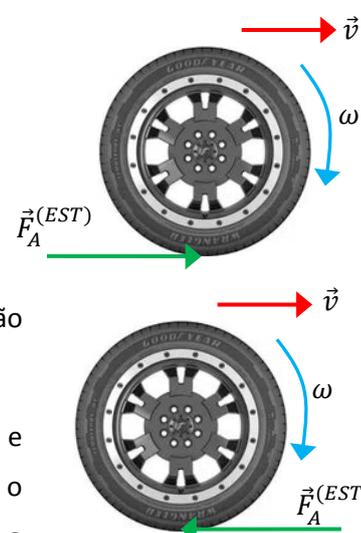
É verdade que podemos considerar todas as forças que atuam no sistema cavalo+carroça e definir a resultante  $\vec{R}$  das forças que atuam nesse sistema. Se fizermos isso, vamos concluir que a resultante  $\vec{F}_{CAV/CARR} + \vec{F}_{CARR/CAV} = \vec{0}$ , graças à terceira lei de Newton. Mais adiante veremos que essa propriedade levaria à conservação do momento linear do sistema cavalo+carroça, se não houvesse outras forças atuando nesse sistema. Mas, o que se discute aqui é a consequência de  $\vec{F}_{CAV/CARR} + \vec{F}_{CARR/CAV} = \vec{0}$  para o cavalo individualmente ou para a carroça individualmente. A resposta é nenhuma, posto que essas forças não atuam no cavalo individualmente ou na carroça individualmente. Uma atua no cavalo e influencia o movimento do cavalo e a outra atua na carroça e influencia o movimento da carroça.

A propriedade  $\vec{F}_{CAV/CARR} + \vec{F}_{CARR/CAV} = \vec{0}$ , que é verdadeira para o sistema cavalo+carroça, influencia o movimento do sistema cavalo+carroça: não modifica o momento linear desse sistema de dois corpos que interagem entre si. Mais adiante discutiremos essa ideia.

**Q4.31** Imagine um carro em uma pista totalmente escorregadia, uma poça de óleo, uma superfície lisa de gelo ou algo parecido. Esse carro não consegue reduzir e nem aumentar sua velocidade. Ele simplesmente desliza com velocidade constante. Se ele estiver parado, fica patinando no mesmo lugar. Se ele já estiver se movendo, não adianta pisar no freio. Não tem efeito nenhum.

Isso posto, já podemos concluir que a força que faz um carro modificar sua velocidade é a força de atrito estático que o asfalto faz nos pneus desse carro. Estamos mencionando aqui o atrito estático porque, apenas para simplificar, estamos excluindo derrapagens momentâneas, que converteriam o atrito em cinético.

A Figura ao lado mostra um pneu de um carro que se move para a direita e está aumentando sua velocidade. Imagine que esse é um pneu que tem tração, ou seja, que está conectado ao motor, o que é comum ocorrer somente nos dois pneus dianteiros do carro. Ao aumentar sua velocidade de rotação o pneu empurra o chão para trás e o chão empurra o pneu para frente através da força de atrito estático  $\vec{F}_A^{(EST)}$ . Se não houvesse  $\vec{F}_A^{(EST)}$ , o pneu ficaria patinando no asfalto. A força  $\vec{F}_A^{(EST)}$  em cada um dos pneus que tem tração empurra o carro para frente quando se pisa no acelerador.



A Figura ao lado mostra um pneu de um carro que se move para a direita e está reduzindo sua velocidade. Imagine que esse é um pneu em que o freio atua, o que costuma ocorrer nos quatro pneus. Ao reduzir sua velocidade de rotação o pneu empurra o chão para a frente e o chão empurra o pneu para trás através da força de atrito estático  $\vec{F}_A^{(EST)}$ . Se não houvesse  $\vec{F}_A^{(EST)}$ , o pneu sairia deslizando no asfalto. A força  $\vec{F}_A^{(EST)}$  em cada um dos pneus que tem ação do freio empurra o carro para trás quando se pisa no freio.