

Forças que Afetam Sólidos e Fluidos

Além das quatro forças fundamentais do universo (gravidade, eletromagnetismo e forças nucleares forte e fraca), existem forças que derivam destas e afetam o comportamento de sólidos e fluidos. Seus nomes são atrito, elasticidade, viscosidade, pressão e flutuação.

Quando uma força é aplicada a um sólido, ele tende a resistir. Os fluidos, embora não tenham forma definida, mantêm sua integridade graças a forças internas que exercem pressão sobre as paredes do recipiente que os contém. Por definição, os fluidos apresentam a tendência de fluir, ou escoar, que pode ser maior em algumas substâncias do que em outras, sendo determinada por sua viscosidade.

Estática

A primeira lei de Newton, enunciada para uma única partícula, pode também ser aplicada a corpos que possuam tamanho e forma definidos ou constituídos por muitas partículas. Tais corpos podem estar em *equilíbrio* (em repouso ou se movendo em velocidade constante em linha reta), o que significa que estão sujeitos a uma *força resultante nula*, sem tendência para girar.

Um corpo está sujeito a uma força resultante zero quando a resultante de todas as forças que agem sobre ele é igual a zero – ou seja, quando todas as forças se anulam. Se o corpo está em repouso, está em *equilíbrio estático*. Estudos sobre estas condições são importantes para projetos de pontes, represas e prédios.

Forças envolvidas na rotação

O *torque* (ou *momento da força*) mede a tendência da força de fazer o corpo girar. Neste caso, a força provoca *aceleração angular*, que é a *taxa de modificação do momento angular* do corpo. O torque é definido como o produto da força que age sobre o corpo pela distância perpendicular entre seu eixo de rotação e a linha de ação da força. O torque possui unidades de força e distância, sendo geralmente expressas como *newton metros (N m)*. O torque aumenta se a força ou a distância perpendicular aumentam. Quando se usa um calço para manter uma porta aberta, ele será mais eficiente quanto mais distante estiver da dobradiça.

1. Equilíbrio. A força resultante sobre o corpo é zero. A massa é compensada pela força de reação: $R = mg$ (mg é a força gravitacional que atua sobre a massa). Os homens estão puxando com força igual: $F = F$. O corpo não se moverá.

2. Torque. Torque ou momento da força = força x distância perpendicular = Fd .

3. O binário. A força total de giro que age sobre a borboleta é $2 Fd$.

4. Centro de gravidade. Os carros de corrida possuem centro de gravidade muito baixo e conservam sua estabilidade mesmo em pistas inclinadas. Um caminhão carregado terá centro de gravidade alto e poderá tomar em terrenos muito inclinados.

5. Freios hidráulicos: sistema hidráulico simples.

6. Elasticidade e fluidez plástica. Alguns corpos comportam-se elasticamente quando submetidos a forças pequenas, mas, acima de um ponto crítico, sofrem fluidez plástica, ou seja, estendem-se irreversivelmente.

Quando um corpo está sujeito a duas forças iguais e opostas, mas não na mesma linha, o resultado é um *binário*, que possui momento de giro constante em torno de qualquer eixo perpendicular ao plano em que as forças atuam. Quando o torque total ou resultante é zero em torno de qualquer eixo, o corpo está em *equilíbrio*. Um corpo estará em equilíbrio estável se um pequeno deslocamento linear fizer com que uma força aja sobre ele, trazendo-o de volta à posição anterior, ou se um deslocamento angular fizer com que o binário atue, fazendo voltar à posição anterior, chamada de *posição de equilíbrio*.

O *centro de massa* de um corpo é um ponto geralmente situado dentro dele, de forma que a força resultante produza uma aceleração sobre esse ponto, como se toda a sua massa estivesse concentrada neste ponto. Dependendo da forma do corpo, o centro de massa pode estar situado fora dele.

Quando há um campo gravitacional uniforme, o *centro de gravidade* coincide com o centro de massa do corpo. Neste caso, todo o peso pode ser considerado como se agisse sobre este único ponto. A estabilidade de um objeto melhora quando seu centro de gravidade é mantido o mais baixo possível.

Atrito

O *atrito de deslizamento* ocorre quando um corpo sólido desliza sobre uma superfície áspera. O deslocamento do corpo é restrito pela interação que ocorre entre a sua superfície e a superfície sobre a qual ele se move. Trata-se da *força de atrito cinético*.

Outro tipo de atrito é o *estático*. Antes de o objeto se mover, a força resultante que age sobre ele deve ser zero. A força de atrito que atua entre o objeto e a superfície sobre a qual ele repousa não pode ultrapassar seu valor limite. Assim, quando as outras forças que agem sobre o objeto, contrárias ao atrito, excedem este valor, ele sofre aceleração. O valor limite da força de atrito é atingido quando o objeto estacionário, sobre o qual age a força resultante, está prestes a deslizar.

Estes dois tipos de atrito envolvem interação entre superfícies sólidas. As forças de atrito dependem das superfícies em contato e, em especial, da presença de outros elementos sobre elas. O atrito entre superfícies de metal deve-se principalmente à adesão, ao cisalhamento e à deformação que ocorrem no interior e em torno das regiões em contato. A energia dissipada no atrito manifesta-se na forma de calor. É por isso que os freios do carro se aquecem quando usados para diminuir a velocidade. Os efeitos do atrito podem ser reduzidos pelo emprego de lubrificantes entre as superfícies em contato. Esta é uma das funções do óleo dos motores. Outro tipo de atrito é o *atrito de rolamento*, que ocorre quando uma roda gira. A energia é dissipada através do sistema devido à elasticidade imperfeita. Este efeito não depende das superfícies e não é afetado pela lubrificação.

Elasticidade

A elasticidade trata das deformações que desaparecem quando as forças externas aplicadas a um corpo cessam. Se as deformações forem pequenas, os corpos comportam-se elasticamente.

A *deformação* é uma medida da quantidade de mudança de forma de um corpo. A *tensão* é uma quan-

tidade proporcional à força que causa a deformação. O valor da tensão em qualquer ponto é dado pela grandeza da força atuante naquele ponto, dividida pela área sobre a qual atua. No caso de tensões pequenas, a tensão é proporcional à deformação. A constante de proporcionalidade é chamada *módulo elástico* e varia conforme o material e o tipo de deformação.

Um exemplo de deformação é a extensão ou alongação de uma mola por uma força aplicada sobre ela. A *lei de Hooke*, formulada pelo inglês Robert Hooke (1635-1703), diz que, para forças pequenas, a extensão é proporcional à força aplicada. Assim, as balanças de mola podem ter graduação uniforme para a medida de pesos variados porque o aço das molas, que volta imediatamente ao estado inicial, é quase *perfeitamente elástico*. Por outro lado, quando uma bola de borracha macia cai sobre o chão duro, ela quica e sobe, atingindo apenas cerca da metade de sua altura inicial, o que demonstra sua *elasticidade imperfeita*.

Alguns corpos apresentam comportamento elástico para valores baixos de tensão, mas, acima do nível crítico, comportam-se de maneira *perfeitamente viscosa* e “escoam” como melado, com deformação irreversível. Trata-se da *fluidez plástica*.

Fluidos em repouso – hidrostática

A *pressão* é definida como a força perpendicular ou normal por unidade de área de uma superfície plana do fluido e sua unidade é o *pascal* (Pa), equivalente a 1 newton por metro quadrado (N/m²). Em todos os pontos do fluido situados à mesma profundidade a pressão é a mesma. No caso de fluidos contidos, a pressão depende apenas da profundidade e independe da área transversal. Nos freios hidráulicos dos carros, uma força é aplicada pelo pedal a um pistão pequeno. A pressão é transmitida por meio do fluido hidráulico a um pistão maior conectado ao freio. Desta maneira, a força aplicada sobre o freio é ampliada em relação à força aplicada ao pedal.

A *pressão atmosférica* pode ser medida através de um barômetro. Ao nível do mar, equivale ao peso de uma coluna de mercúrio de cerca de 0,76 m de altura, o que corresponde a cerca de 1,01 x 10⁵ Pa. Sua variação pode chegar a 5%, dependendo dos sistemas meteorológicos que estejam atuando na atmosfera.

A *força de flutuação* foi descrita pelo matemático e físico grego Arquimedes (287-212 a.C.). O *princípio de Arquimedes* diz que um objeto colocado num fluido flutua devido à ação de uma força igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo. Corpos com densidade superior à do fluido afundam, porque o fluido que deslocam pesa menos que o próprio corpo. Corpos com densidade inferior à do fluido flutuam.

VISCOSIDADE E TURBULÊNCIA

A *viscosidade* está relacionada ao atrito interno que ocorre no escoamento de um fluido – como as camadas adjacentes do fluido exercem forças retardantes umas sobre as outras. Este fenômeno surge devido à coesão entre as moléculas do fluido. Nos sólidos, a deformação das camadas adjacentes é normalmente elástica. Nos fluidos, entretanto, não há resistência permanente à alteração da forma; as camadas podem deslizar umas sobre as outras, com deslocamento contínuo. Os fluidos são descritos como *newtonianos* quando obedecem à lei de Newton, que diz que a proporção entre a tensão aplicada e a velocidade de cisalhamento possui valor constante. Muitas substâncias, porém, não seguem esta relação. Algumas tintas, por exemplo, não possuem valores constantes de coeficiente de viscosidade; quando são agitadas, escoam com mais facilidade e o coeficiente diminui. Lava derretida é outro fluido não-newtoniano.

Se as camadas adjacentes escoam com suavidade umas sobre as outras, o fluxo contínuo recebe o nome de *fluxo laminar*. Quando a velocidade do fluxo aumenta, o fluxo pode se tornar desordenado, com movimentos irregulares e aleatórios, chamados de *turbulência*. A fumaça que sobe de um cigarro aceso começa como fluxo laminar suave, mas se transforma rapidamente em fluxo turbulento, com a formação de redemoinhos. Se a velocidade, a densidade, a dimensão e a viscosidade do sistema forem conhecidas, será possível prever o início da turbulência. O estudo da viscosidade e da turbulência é importante para a compreensão de problemas como o fluxo do sangue arterial pelo corpo. No caso das artérias principais, o efeito da turbulência merece maior atenção.