AULA

17

O momento do gol

PARA COMEÇAR

Falta 1 minuto para terminar o jogo. Final de campeonato! O jogador entra na área adversária driblando, e fica de frente para o gol. A torcida entra em delírio gritando "Chuta! Chuta! Chuta!"

Mas, em vez de chutar, o jogador fica "ciscando" dentro da área, pra lá e pra cá, até que um adversário lhe dá um tranco e pronto: ele desaba feito uma jaca madura!

A torcida entra em desespero: "Pênalti! Pênalti! Pênalti!" O juiz, que estava perto do lance, apita com convicção e corre para a marca fatal.

Confusão, empurra-empurra, choradeira, todos falando com o indicador pra cima; alguém joga a bola longe, alguém vai buscar... Mas não tem jeito. Apitou, tá apitado.

Bola parada. Jogador e goleiro frente a frente. Tudo pronto.

O que o jogador precisa fazer para marcar o gol?

Parece muito fácil marcar um gol de pênalti, mas na verdade o espaço que a bola tem para entrar é pequeno. Observe na Figura 1:

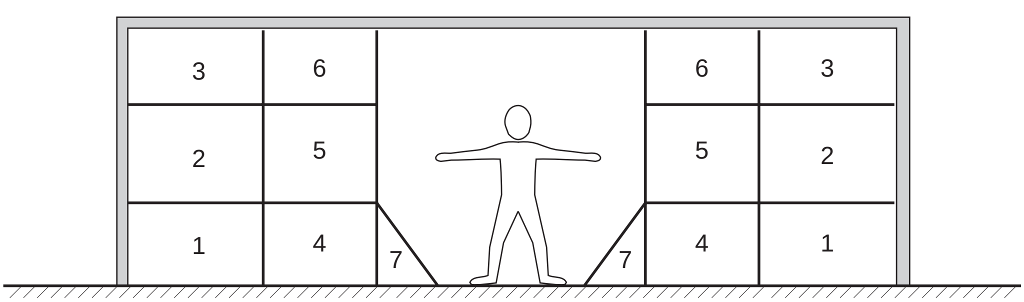


Figura 1. As regiões do gol por onde é mais fácil a bola passar.

Esse problema se parece com o de colocar uma bola de bilhar dentro da caçapa: um desvio na direção da tacada pode fazer com que erremos a caçapa. Sabemos que não basta força para chutar a bola: é preciso chutá-la na **direção** correta, para que a bola vá exatamente no lugar que queremos.

O chute tem que ser preciso, porque o tempo em que o pé do jogador fica em contato com a bola é muito pequeno e não há possibilidade de corrigir a direção da bola depois do chute.

Fique ligado

Impulso

Quando uma força é aplicada sobre um corpo durante um período de tempo muito curto, dizemos que esse corpo recebe um **impulso**.

Assim, quando chutamos uma bola de futebol, ou damos uma tacada numa bola de bilhar, ou mesmo quando empurramos um jogador, estamos dando a eles um **impulso**. Podemos então definir impulso da seguinte maneira:

Impulso é uma força aplicada durante um período de tempo muito curto.

Observe o gráfico abaixo que mostra a força aplicada a uma bola de futebol, durante um chute:

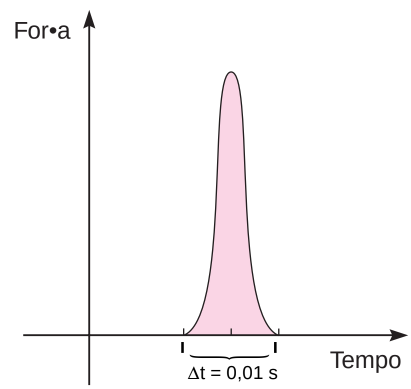


Figura 2

Podemos escrever essa definição de forma matemática **e dizer a mesma coisa:**

$$\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

onde a unidade de impulso é o newton-segundo (N · s).

Lembre-se de que para acertar a bola não basta aplicar uma força grande ou pequena, mas é preciso dar ela **a direção correta**.

É exatamente por isso que definimos **impulso** como um **vetor**.

A **intensidade do impulso** é determinada pela intensidade da força, multiplicada pelo intervalo de tempo no qual ela está sendo aplicada. E a **direção** e o **sentido** do impulso serão exatamente os mesmos que a direção e o sentido da força. Por isso, é necessário aplicar a força na direção correta para fazer o gol.

Figura 3

Quantidade de movimento

O que acontece com um corpo, quando lhe damos um impulso?

Se um corpo está parado e lhe damos um impulso ele irá se movimentar, ou seja, sua velocidade vai mudar de zero para algum outro valor. Por exemplo, a bola do pênalti: ela está parada, mas, depois de receber um impulso dado pelo chute do jogador, ela se deslocará, ou seja, **sua velocidade irá variar**.

Já sabemos, pela Segunda Lei de Newton que quando uma força é aplicada sobre um corpo, ele adquire uma aceleração, ou seja, sua velocidade varia. Mas o que estamos fazendo aqui é aplicando uma força e levando em conta o período de tempo durante o qual essa força foi aplicada, o que caracteriza o **impulso**.

Se a bola for muito pesada, será mais difícil fazê-la se mover, isto é, modificar sua velocidade. Se a bola for leve, será mais fácil alterar sua velocidade, ou seu estado de movimento. Isso significa que é mais fácil dar um impulso numa bola com uma massa pequena do que numa com a massa grande. Assim, dois fatores contribuem para descrever o estado de movimento de um corpo: a **massa** e a **velocidade.**

Quando dizemos **estado de movimento**, queremos dizer que o corpo tem uma certa **quantidade de movimento**, que é uma grandeza que pode ser medida. Também dizemos que, se um corpo tem pouca quantidade de movimento, é fácil pará-lo; mas, se tem muita quantidade de movimento, é difícil fazê-lo parar.

Passo-a-passo

Se um ônibus vem com uma velocidade pequena de 0,2 m/s, mas sua massa é muito grande, 4.000 kg, não é fácil pará-lo. Se um ciclista vem com sua bicicleta, onde a somas das suas massas é 80 kg, com uma velocidade de 10 m/s, também não vai ser fácil pará-lo.

Podemos definir uma equação matemática que descreve a quantidade do movimento:

$$\boxed{\vec{q} = m \cdot \vec{v}}$$

Sua unidade, no sistema Internacional (SI) será o **kg · m/s.**

Sabemos que a **velocidade** é uma **grandeza vetorial**, por isso, a **quantidade de movimento** também é uma grandeza vetorial.

Como os dois estão andando em linha reta, podemos, com a expressão acima, calcular o módulo da quantidade de movimento do ônibus e do ciclista:

$$q_{\text{ônibus}} = 4.000 \times 0,2 = 800 \frac{kg \times m}{s}$$

$$q_{\text{ciclista}} = 80 \times 10 = 800 \frac{kg \times m}{s}$$

ou seja, os dois têm a mesma quantidade de movimento, apesar de serem corpos completamente distintos. Podemos então concluir que:

Quando um impulso é dado a um corpo, ele altera sua quantidade de movimento, pois altera sua velocidade.

Chuta a bola!

Finalmente, nosso jogador vai chutar. Tudo preparado, bola parada, goleiro imóvel, esperando o momento em que o jogador vai dar o impulso na bola.

Quando chutar a bola, o jogador estará aplicando uma força sobre ela, que pode ser escrita como:

$$\boxed{\vec{F} = m_{bola} \times \vec{a}}$$

Sabemos que a bola vai ser acelerada por alguns instantes, isto é, sua velocidade vai variar. Usamos a definição de aceleração:

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

e substituindo na expressão da força, assim obtemos:

$$\vec{F} = m \times \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

que pode ser escrito de outra forma:

$$\vec{F} \times \Delta t = m \times \Delta \vec{v}$$

O produto da força pelo intervalo de tempo, é o impulso dado à bola. O símbolo Δt, representa a diferença entre dois instantes de tempo, o **inicial** e o **final**. Nesse caso, Δv é a **diferença** da velocidade no intervalo de tempo isto é; a velocidade depois do chute menos a velocidade antes do chute. Podemos então escrever:

$$\vec{F} \times \Delta t = m \times (\vec{v}_{depois} - \vec{v}_{antes})$$

$$\vec{F} \times \Delta t = m \times \vec{v}_{depois} - m \times \vec{v}_{antes}$$

Usando as definições de impulso e de quantidade de movimento:

$$\vec{I} = \vec{q}_{antes} - \vec{q}_{depois}$$

Podemos então escrever que:

$$\boxed{\vec{I} = \Delta \vec{q}}$$

Essa relação entre o impulso e a quantidade de movimento é bastante reveladora, pois mostra exatamente o que estávamos pensando:

Quando um corpo recebe um impulso, sua quantidade de movimento varia!

Passo-a-passo

"Chuta forte!", gritava a torcida.

Nosso jogador está pronto para chutar a bola.

Será que dá para calcular o intervalo de tempo em que o pé do jogador fica em contato com a bola?

Podemos fazer uma avaliação: uma bola de futebol pesa em torno de 400 gramas, ou 0,4 kg, e a força que o jogador exerce quando chuta a bola é, em média, de 2.000 N. A bola, que estava parada, após o chute parte com uma velocidade de 50 m/s, aproximadamente.

O impulso varia a quantidade de movimento da bola. Como a bola vai se deslocar na mesma direção em que for dado o chute, podemos usar apenas o módulo do impulso e da quantidade de movimento:

$$I = \Delta q = m \times v_{final} - m \times v_{inicial}$$

Pela definição de impulso, podemos escrever:

$$I = F \cdot \Delta t = m \times v_{final} - m \times v_{inicial}$$

Substituindo os valores conhecidos, temos:

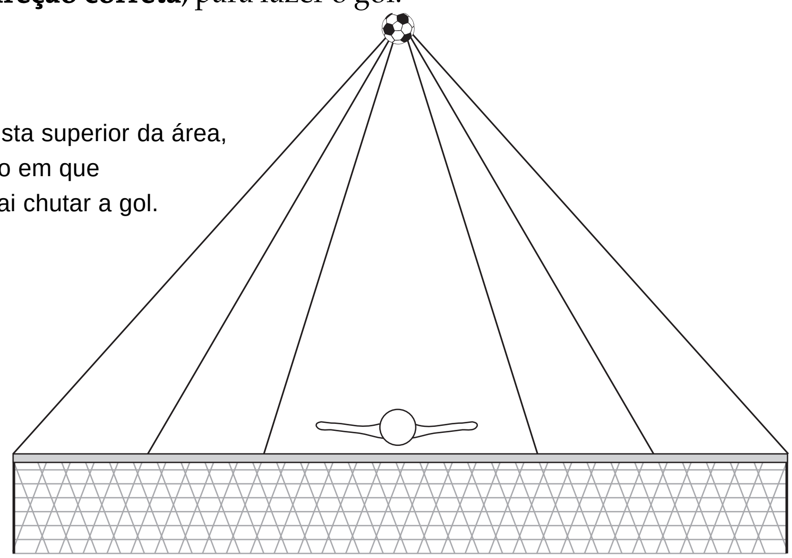
$$2.000 \cdot \Delta t = 0,4 \cdot 50 - 0,4 \cdot 0$$

Assim:

$$\Delta t = \frac{20}{2.000} = 0,01 \text{ s}$$

Isto é, o pé do jogador fica em contato com a bola por apenas 1 centésimo de segundo. Mas o problema ainda não está resolvido. O jogador tem de chutar a bola na **direção correta**, para fazer o gol:

Figura 4. Vista superior da área, no momento em que o jogador vai chutar a gol.



Nosso jogador mira, concentra-se, toma impulso e chuta com fé!

Vetor variação da quantidade de movimento ou vetor impulso

A bola parte com uma velocidade aproximada de 50 m/s em direção ao canto direito do gol; o goleiro, pula para o canto esquerdo do gol; a torcida já comemorava quando, na frente da bola, surgiu a trave.

"Na trave!" grita o locutor.

Vamos entender o que houve. Como podemos ver na Figura 5, a bola tomou a direção da trave e voltou exatamente pelo mesmo caminho. Supondo que a bola manteve sua velocidade de 50 m/s, ela bateu na trave e voltou com a mesma velocidade.

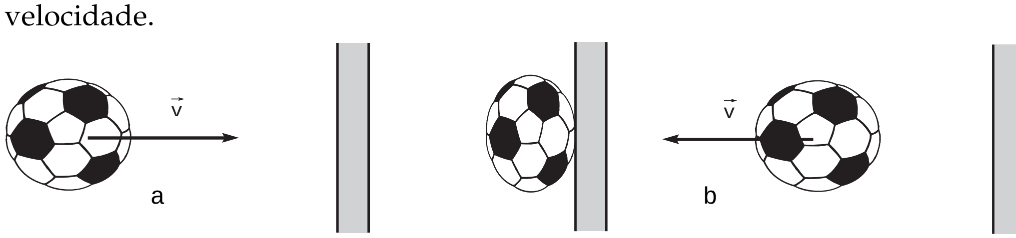


Figura 5. A bola em sua trajetória (a) rumo à trave e (b) na volta.

Podemos calcular a variação da quantidade de movimento da bola? Sim. Para isso precisamos lembrar que a quantidade de movimento é um vetor, bem como sua variação.

A Figura 6 mostra o diagrama de vetores da quantidade de movimento. Para calcular a variação da quantidade de movimento é preciso subtrair o vetor $\vec{q}_{final}$ do vetor $\vec{q}_{inicial}$

Figura 6

Para subtrair graficamente dois vetores, basta mudar o sentido do vetor que está subtraindo (Figura 7), ou seja:

Figura 7

$$\Delta \vec{q} = \vec{q}_f - \vec{q}_i$$
$$-\vec{q}_{inicial} = (-1)\,\vec{q}_{\mathbf{inicial}}$$

Isso significa que multiplicar um vetor por um número negativo é o mesmo que inverter o seu sentido.

Então o módulo da variação a quantidade de movimento será:

$$\Delta q = q_{final} - (-q_{inicial}) = q_{final} + q_{inicial} = mv_{final} + mv_{inicial}$$
$$\Delta q = 0{,}4 \cdot 50 + 0{,}4 \cdot 50$$
$$\Delta q = 40 \text{ Ns}$$

Esse é o impulso que a bola recebeu no choque com a trave.

$$I = \Delta q = 40 \text{ Ns}$$

Qual terá sido a força que a trave fez na bola, sabendo que o tempo de contato entre a bola e a trave foi de aproximadamente 0,01 s?

Se o impulso dado pela trave foi 40 Ns, podemos escrever pela definição que:

$$I = F \cdot \Delta q = 40 \text{ Ns}$$

Podemos então calcular a força da trave sobre a bola:

$$F = \frac{40}{\Delta t} = \frac{40}{0{,}01} = 4.000 \text{ N}$$

Isso equivale a sofrer uma pancada de uma massa de 400 kg. “Pobre bola”!

Vamos voltar aos momentos finais desse dramático pênalti.

Nosso jogador, apesar de estar chocado com a bola na trave, rapidamente se recompôs e, percebendo que a bola voltava na sua direção, preparou-se para dar novamente um poderoso chute e dessa vez não teve perdão, mandou uma bomba para dentro do gol!

A torcida, antes desesperada, passou a comemorar, naquele último minuto. Em campo, os jogadores pulavam como crianças, agradecendo ao “milagre” de a trave ter dado um impulso na bola exatamente na direção por onde ela tinha vindo, até onde estava o nosso jogador...

PARA TERMINAR

Nesta aula, aprendemos dois conceitos:

- o impulso de uma força $\vec{I} = \vec{F} \times \Delta t$, que expressa a ação de uma força num intervalo de tempo muito curto;
- quantidade de movimento $\vec{q} = m\vec{v}$, e obtivemos a relação entre essas duas grandezas, dada pela equação

$$\boxed{\vec{I} = \Delta \vec{q}}$$

- aprendemos, também, que essas grandezas são descritas por vetores, ou seja, que têm módulo, direção e sentido.

Exercício 1

Um jogador de bilhar dá uma tacada na bola branca, numa direção paralela ao plano da mesa. A bola sai com uma velocidade de 4 m/s. Considere que sua massa é de 0,15 kg e que o impacto entre a bola e o taco durou 0,02 s. Calcule a intensidade do impulso recebido pela bola, sabendo que ela estava parada antes da tacada, e a força que o taco exerce sobre a bola.

Exercício 2

Que velocidade deve ter um Fusca, de massa igual a 1.500 kg, para ter a mesma quantidade de movimento de um caminhão de carga, que tem uma velocidade de 60 km/h e uma massa de 7,5 toneladas (1 t = 1.000 kg)?

Exercício 3

Num acidente de trânsito, um Fusca, com massa de 1.500 kg, vinha a uma velocidade de 36 km/h, ou seja, 10 m/s. O motorista, distraído, não viu um caminhão parado na rua e foi direto contra a sua traseira, parando logo em seguida. Calcule o impulso dado ao caminhão. E, supondo que o choque demorou 0,1 segundo, calcule a força do impacto.